

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**APLICAÇÃO DO CONCEITO DE PRODUÇÃO LIMPA: ESTUDO EM UMA  
EMPRESA METALÚRGICA DO SETOR DE TRANSFORMAÇÃO DO  
ALUMÍNIO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia.

**FRANCISCO ADONES DE OLIVEIRA FILHO**

Florianópolis, abril de 2001.

**FRANCISCO ADONES DE OLIVEIRA FILHO**

**APLICAÇÃO DO CONCEITO DE PRODUÇÃO LIMPA: ESTUDO EM UMA  
EMPRESA METALÚRGICA DO SETOR DE TRANSFORMAÇÃO DO  
ALUMÍNIO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de "Mestre em Engenharia",  
Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 04 de abril de 2001

---

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.

Coordenador do PPGEP

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Sandra Sulamita Nahas Baasch, Dra.

Orientadora

---

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.

---

Prof. Harrysson Luiz da Silva, Dr.

*Dedico este trabalho à minha esposa Solange, aos meus filhos Rodrigo, Marília e Pedro, e aos meus pais Adones e Arimar.*

## **AGRADECIMENTOS**

A todos aqueles que de forma direta ou não, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Em atenção especial:

- A Universidade Federal de Santa Catarina e a Universidade Federal do Ceará pelo incentivo ao intercâmbio cultural e do conhecimento, através do Curso de Mestrado Interinstitucional em Engenharia de Produção;
- A Professora Sandra Sulamita, pela atenção e a confiança demonstrada durante os 34 meses dedicados ao trabalho;
- Aos Professores Flávio Lapolli e Harrysson Luiz, pelas melhorias sugeridas ao trabalho;
- Aos Professores Osmar Possamai e Paulo Selig, ao meu ver, maiores responsáveis pela existência desse curso;
- A Empresa Alubrás S/A, por acreditar no projeto e permitir a implantação em seu setor de fundição;
- Ao Professor Fernando José A da Silva, pela crítica e colaboração sempre presente nos momentos de decisão.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	x
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii

### **1 - INTRODUÇÃO**

1.1 - Apresentação.....	1
1.2 - Objetivos.....	2
1.2.1 - Objetivo Geral.....	3
1.2.2 - Objetivos Específicos.....	3
1.3 - Hipóteses.....	3
1.3.1 - Hipótese Geral.....	3
1.3.2 - Hipóteses Específicas.....	3
1.4 - Limitações.....	4
1.5 - Estrutura do Trabalho.....	4

### **2 - A QUESTÃO AMBIENTAL**

2.1 - A evolução da Qualidade:.. ..	6
2.2 - A evolução da Qualidade Ambiental.....	12
2.2.3 - Agenda / Programa 21. ....	19
2.3 - Conceito de Produção Limpa. ....	21
2.4 - Aspectos e Impactos Ambientais segundo a ABNT ISO 14001.....	24
2.4.1 - Identificação dos Aspectos Ambientais.....	25
2.4.2 - Identificação dos Impactos Ambientais. ....	27
2.5.3 - Processo de Avaliação. ....	29

### **3 - O PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DO ALUMÍNIO PRIMÁRIO**

3.1 - O Alumínio Primário.....	31
3.2 - A Transformação do Alumínio Primário em Produtos.....	33
3.2.1 - Fundição.....	33

3.2.2 - Laminação. ....	34
3.2.3 - Corte. ....	36
3.2.4 - Estados Estruturais do Alumínio – Têmpera. ....	37
3.3 - Características do alumínio. ....	38
3.4 - Tratamentos Específicos. ....	41
3.4.1 - Escorificação. ....	41
3.4.2 - Refinamento de Grãos. ....	42
3.4.3 - Desgaseificação ou Fluxação. ....	45
3.5 - Tipos de Fornos e Combustíveis. ....	51
3.5.1 - Fornos mais indicados para Fusão do Alumínio. ....	52
3.5.2 - Estatísticas dos Fornos de Fundição no Brasil. ....	53
3.6 - Controle de Processo. ....	57
3.7 - Aspectos e Impactos Ambientais na Transformação de Metais Não-ferrosos. ....	60
3.7.1 - Potenciais Impactos Ambientais negativos na obtenção do alumínio. ....	61
3.7.2 - Potenciais Impactos Ambientais negativos nas fundições secundárias. ....	61
3.7.3 - Potenciais Impactos Ambientais negativos na fabricação com metais não-ferrosos. ....	62
3.7.4 - Recomendações de Medidas Atenuantes. ....	63
3.7.5 – Referências para Análise Ambiental. ....	64

## **4 – O ESTUDO NA EMPRESA ALUBRÁS S/A**

4.1 - Histórico. ....	67
4.2 - O Perfil da Empresa Piloto. ....	67
4.3 - Fundamentos da Metodologia. ....	68
4.4 - O Desenvolvimento. ....	70
4.4.1 - Instrumentos de Coleta de Dados. ....	72
4.4.2 - A Aplicação da Metodologia. ....	73

## **5 - A METODOLOGIA E SUA APLICAÇÃO**

5.1 - Introdução. ....	75
5.2 - Metodologia Proposta. ....	76
5.2.1 - Seleção da Empresa. ....	76
5.2.2 - Apresentação da Proposta. ....	76

5.2.3 - Levantamento do Processo Existente.....	77
5.2.4 - Identificação dos Aspectos e Impactos Ambientais..	78
5.2.5 - Definição do Grupo de Controle.....	79
5.2.6 - Estudo do Processo Alternativo.....	79
5.2.7 - Implantação do Processo Alternativo.....	80
5.2.8 - Coleta de Dados.....	80
5.2.9 - Análise Comparativa dos Resultados. ....	81
5.3 - Aplicação da Metodologia.....	81
5.3.1 - Escolha da Empresa. ....	81
5.3.2 - Apresentação da Proposta..	82
5.3.3 - O processo de Produção.....	82
5.3.4 - Identificação dos Aspectos e Impactos Ambientais..	86
5.3.4.1 - Avaliação na operação de pré-aquecimento.....	86
5.3.4.2 - Avaliação na operação de fusão do alumínio.....	87
5.3.4.3 - Avaliação na operação de tratamento do alumínio.....	88
5.3.4.4 - Avaliação na operação de resfriamento das coquilhas.....	89
5.3.4.5 - Diretrizes para o estudo técnico..	90
5.3.5 - Definição do Grupo de Controle.....	90
5.3.6 - Estudo do Processo Alternativo.....	92
5.3.6.1 - Estudo no sistema de alimentação e combustão dos fornos.....	92
5.3.6.2 - Estudo no sistema de desgaseificação do alumínio.....	93
5.3.6.3 - Estudo no sistema de refinamento de grãos..	94
5.3.6.4 - Estudo na operação de resfriamento das coquilhas..	94
5.3.6.5 - Estudo para recuperação da borra.....	95
5.3.7 - Implantação do Processo Alternativo.....	96
5.3.8 - Coleta dos Dados..	98
5.3.9 - Análise Comparativa dos resultados.....	99

## **6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

6.1 - Comentários.....	101
6.2 - Verificação dos Objetivos..	101
6.2.1 - Objetivo Geral..	101

6.2.2 - Objetivos Específicos.....	102
6.3 - Verificação das Hipóteses.. ..	102
6.3.1 - Hipóteses Geral.....	102
6.3.2 - Hipóteses Específicas.....	102
6.4 - Conclusões.. ..	103
6.4.1 - Sobre a Teoria Pesquisada.. ..	103
6.4.2 - Sobre as Tecnologias Alternativas.....	103
6.4.3 - Sobre a Metodologia Desenvolvida.. ..	104
6.4.4 - Sobre o Trabalho.. ..	104
6.5 – Sugestões para Futuras Pesquisas.. ..	104
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 106
BIBLIOGRAFIA.. ..	111



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Integração Externa da Qualidade.....	9
Figura 2.2 – Integração das Variáveis Macroambientais com a Organização. ....	17
Figura 3.1 – Fluxo do processo de obtenção da alumina.....	31
Figura 3.2 – Esquematização do Processo de Laminação.. ....	35
Figura 3.3 – Plano de Corte do Disco.. ....	36
Figura 3.4 – Representação das Fases de Cristalização do Alumínio.....	43
Figura 3.5 – Tamanho do Grão x Tempo.....	44
Figura 3.6 – Desgaseificação com Gás Inerte e Lança.. ....	49
Figura 3.7 – Rendimento da Desgaseificação.....	50
Figura 5.1 – Fluxo Geral da Metodologia.....	75
Figura 5.2 – Fluxograma Geral da Fundição.. ....	86
Figura 5.3 – <i>Lay-Out</i> Ilustrativo do Setor de Fundição.....	85

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Temas da Agenda 21.....	19
Quadro 2.2 – Classificação dos aspectos e Impactos Ambientais.....	26
Quadro 2.3 – Meios e Impactos Ambientais.....	27
Quadro 2.4 – Classificação da Significância dos Impactos Ambientais..	28
Quadro 2.5 – Avaliação dos Aspectos e Impactos ambientais..	29
Quadro 3.1 – Evolução dos Combustíveis nas Fundições de Não-ferrosos no Brasil.....	54
Quadro 3.2 – Tipos de Fornos e Combustíveis para Alumínio..	55
Quadro 3.3 – Fornos e Combustíveis na Cidade de Fortaleza..	56
Quadro 3.4 – Controles no Processamento do Alumínio.....	57
Quadro 3.5 – Composição Química do Alumínio Não-ligado.....	59
Quadro 4.1 – Fases da Pesquisa.....	71
Quadro 5.1 – Unidades Industriais.....	82
Quadro 5.2 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais no Pré-aquecimento.....	86
Quadro 5.3 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais na Fusão do Alumínio.....	87
Quadro 5.4 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais nos Tratamentos..	88
Quadro 5.5 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais no Resfriamento.....	89
Quadro 5.6 – Planilha de Ação Ambiental – PAA. ....	91
Quadro 5.7 – Formação do Grupo de Controle..	91
Quadro 5.8 – Variáveis do Processo de Desgaseificação com Argônio.....	94
Quadro 5.9 – Coleta de Dados do Novo Processo.....	98
Quadro 5.10 – Comparação dos Resultados.....	99

## RESUMO

A excelência em negócios, o capital intelectual, os recursos econômicos, como também a questão ambiental, vêm fazendo parte das tendências do moderno cenário mundial, onde o conceito do desenvolvimento sustentável apresenta a existência de uma *interface* significativa entre essas áreas.

Buscando compartilhar desse conceito, o presente trabalho demonstra uma metodologia para integrar o meio ambiente ao estudo da atividade industrial, identificando tecnologias alternativas, a fim de obter um processo de produção mais limpo. Para validar a pesquisa, foi feita a aplicação no setor de fundição de uma empresa de transformação do alumínio.

A etapa prática foi desenvolvida na Alubrás S/A, uma empresa fabricante de produtos laminados localizada no estado do Ceará. Ao final da implantação, o levantamento e a análise dos dados mostraram a redução dos aspectos ambientais, a maior eficiência e o menor custo de produção. Estes resultados, considerados satisfatórios, demonstram que os objetivos desse trabalho foram plenamente alcançados.

## ABSTRACT

*The excellence in business, the intellectual capital, the economic resources, as well as the environmental question, are all becoming parts of today's tendencies in the modern world scenery, where the concept of the maintainable development shows the existence of a significant interface amongst these areas.*

*In an attempt to share this concept, the present work demonstrates a methodology to integrate the environment into the study of an industrial activity, identifying technological alternative, in order to obtain a "cleaner" production process. To ratify the research, it was applied in the foundry of a company that transforms aluminum.*

*The practical phase was implemented in Alubrás S/A, a manufacturing company of laminate products located in the state of Ceará. To the end of the implementation, the performance data and the analysis of that data, clearly showed the reduction of the negative environmental aspects, an increased efficiency and a lower production cost. These results, considered very satisfactory, showed that the objectives of this work had been fully achieved.*

**UFSC/PPGEP**

**Fco. Adones de Oliveira Filho 98113d0001**

**Resumo e Palavras-chave**

**RESUMO**

A excelência em negócios, o capital intelectual, os recursos econômicos, como também a questão ambiental, vêm fazendo parte das tendências do moderno cenário mundial, onde o conceito do desenvolvimento sustentável apresenta a existência de uma *interface* significativa entre essas áreas.

Buscando compartilhar desse conceito, o presente trabalho propõe uma metodologia para integrar o meio ambiente ao estudo da atividade industrial, identificando tecnologias alternativas, a fim de obter um processo de produção mais limpo. Para validar a pesquisa, foi feita a aplicação no setor de fundição de uma empresa de transformação do alumínio.

A etapa prática foi desenvolvida na Alubrás S/A, uma empresa fabricante de produtos laminados localizada no estado do Ceará. Ao final da implantação, o levantamento e a análise dos dados mostraram a redução dos aspectos ambientais, a maior eficiência e o menor custo de produção. Estes resultados, considerados satisfatórios, demonstram que os objetivos desse trabalho foram plenamente alcançados.

Palavras-chave

**Alumínio, Tecnologia Limpa, Produção mais Limpa, Questão Ambiental**

## CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO

### 1.1 – Introdução

*Amplamente comentado nos diversos ramos de atividade, os termos desenvolvimento sustentável e sustentabilidade estão em evidência. Porém, observa-se a necessidade de uma definição simples e aplicável para a sociedade.*

*Durning (1993) apresenta duas perguntas: Que nível de consumo a terra pode sustentar? Quanto é suficiente? Para este autor, o alto nível de consumo dos afortunados é um grave problema ambiental e talvez somente comparado ao crescimento demográfico.*

*Conforme Durning (1993), os países industrializados apresentam consumo per capita quinze vezes maior de papel, dez vezes de aço e doze vezes de combustível que no restante do planeta.*

*O crescimento do consumo significa ampliação dos volumes da produção e, conseqüentemente uma maior interação das atividades industriais com o meio ambiente. Este fato despertou a atenção das organizações para com os recursos naturais, principalmente devido ao rápido avanço tecnológico com início na década de 90.*

*Por outro lado, em regiões com parques industriais em desenvolvimento, como no Estado do Ceará, pode-se observar nas indústrias transformadoras de alumínio a ausência de ações voltadas para a*

*preservação ambiental. Isto ocorre por falta de conhecimento ou mesmo por escassez de recursos financeiros.*

*A partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, o estabelecimento de novos níveis de conscientização e cooperação entre setores importantes da sociedade proporcionou uma maior rigidez para com os aspectos legais referentes ao meio ambiente.*

*Esse fato tem sido evidenciado através de palestras, cursos e seminários sobre a questão ambiental em distintos ramos de atividade. Somente a Associação Brasileira do Alumínio – ABAL, promoveu até 1999 cinco seminários internacionais sobre a reciclagem do alumínio, nos quais foram debatidos principalmente o reaproveitamento e o tratamento de seus resíduos.*

*A gestão ambiental passou a ter importância como compromisso consolidado pelas leis federais, estaduais e municipais. Pressões exercidas pela opinião pública, organizações não governamentais (ONG's) e até por consumidores, fazem com que os empreendedores busquem uma interação cada vez maior com as questões ambientais.*

*O emprego de técnicas de produção mais limpa proporciona preventivamente a adequação ao desenvolvimento sustentável, a redução e a valorização de resíduos, rotineiramente considerados perdas de processo, constituem valor agregado ao preço do produto.*

*Diante desta situação, o trabalho pretende identificar tecnologias através do embasamento teórico e, usando o conhecimento prático de campo, desenvolver e aplicar uma metodologia de produção mais limpa no processo de transformação do alumínio, integrando os sistemas fabril e de preservação ambiental.*

*Um estudo de todas as fases do sistema de produção para a identificação e análise dos fatores ambientais que interagem com o processo produtivo deve ser efetuado detalhadamente conforme a ordem crescente do fluxo operativo. A verificação passo a passo permite determinar os fatores de ligação entre as atividades, aspectos e impactos ambientais derivados da transformação do alumínio.*

Espera-se oferecer às organizações um modelo simples e viável de aplicação de técnicas eficientes para a redução dos agentes agressores do meio ambiente.

## **1.2 - Objetivos**

Esse trabalho apresenta um objetivo geral e quatro objetivos específicos.

### **1.2.1 - Objetivo geral**

Construção de uma metodologia voltada à Produção Limpa (*Cleaner Production*) no processo de transformação de alumínio primário.

### **1.2.2 - Objetivos específicos**

*Para viabilização do objetivo geral, destacam-se os seguintes pontos:*

- Identificar os principais aspectos ambientais significativos;
- Aplicar os métodos estudados procurando atingir a produção limpa;



- Comparar os resultados obtidos com a nova metodologia;
- A partir dos resultados, comentar e sugerir melhorias para trabalhos futuros.

### **1.3 – Hipóteses**

A partir do problema exposto, apresenta-se uma hipótese geral e duas hipóteses específicas.

#### **1.3.1 - Hipótese Geral**

O processo de transformação do alumínio desenvolve atividades agressivas ao meio ambiente na forma de vapores e resíduos sólidos, como também um alto desperdício de água limpa.

#### **1.3.2 - Hipóteses Específicas**

- Com a aplicação de tecnologias alternativas, pode-se desenvolver a transformação do alumínio sem poluir os ambientes interno e externo à empresa;
- Com a implantação de tecnologias mais limpas, a empresa pode reduzir custos na planta industrial;

### **1.4 - Limitações**

As principais limitações para o desenvolvimento do trabalho são descritas a seguir:

- As empresas dificultam a demonstração de seus processos fabris e principalmente a permanência do pesquisador em suas dependências;
- A empresa contatada desconhece os novos conceitos de: qualidade, desenvolvimento sustentável e tecnologia limpa e suas aplicações como ferramentas essenciais ao crescimento da organização e atendimento à necessidade do mercado;
- A resistência às mudanças no que se refere aos métodos de controle e avaliação do processo produtivo, como também a dificuldade na apuração de dados.

- A escassez de literatura correlacionando a qualidade no processo e o meio ambiente de forma integrada dificultou a formação da base teórica para o desenvolvimento do trabalho.
- Baixa evolução nas tecnologias, que envolvem o processo em estudo.

## **1.5 - Estrutura do Trabalho**

O estudo é distribuído sistematicamente nas seguintes etapas:

As considerações iniciais, juntamente com os objetivos e suas limitações, são demonstradas no capítulo 1.

No capítulo 2, apresenta-se a pesquisa envolvendo a evolução da qualidade e da questão ambiental com abordagem no desenvolvimento sustentável e nas recomendações da Agenda 21 para uma produção mais limpa.

O capítulo 3 demonstra de forma sucinta os conceitos, métodos e dados pesquisados referentes à transformação de alumínio, permitindo a identificação de tecnologias viáveis ao processo produtivo e ao meio ambiente.

O capítulo 4 é composto do estudo da metodologia, modelada em uma empresa piloto do setor metalúrgico de transformação do alumínio.

No capítulo 5, são apresentados, a metodologia desenvolvida, sua aplicação na empresa em estudo e os resultados obtidos.

O capítulo 6 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.



## CAPÍTULO 2 - A QUESTÃO AMBIENTAL

### 2.1 – A Evolução da Qualidade

O homem primitivo viveu a partir dos recursos da terra, onde encontrava a energia alimentar suficiente a sua sobrevivência. A exploração da natureza teve início com o comércio à base de trocas nas primeiras comunidades, quando então foi despertada a busca pelo acúmulo de bens materiais, proporcionando ao explorador um *status* social.

A descoberta dos combustíveis fósseis e a invenção e evolução das máquinas, proporcionaram a utilização da energia fornecida pela terra sob forma de recurso infinito.

Com a revolução industrial, o objetivo era a industrialização de bens de consumo em larga escala, sendo então desenvolvido o conceito de linhas de montagem e também a reprodução das máquinas, multiplicando exponencialmente a capacidade fabril sem qualquer preocupação com as condições de vida.

Somente mais tarde, talvez com as bombas lançadas no Japão durante a segunda grande guerra, a humanidade se deu conta que as perdas não somente recaíam sobre os trabalhadores mas também na possibilidade de extinção do planeta pelo próprio Homem.

Além da destruição, o pós-guerra trouxe conseqüências ao meio ambiente face ao desenfreado desenvolvimento com a recuperação das regiões envolvidas no conflito. Algumas ainda sofreram mudanças em suas bases produtivas até então centradas nas atividades primárias como agricultura e mineração para experimentar processos industriais.

A necessidade, somada à oportunidade de desenvolvimento econômico, proporcionou várias alterações não somente aos ambientes físico e biológico, mas também aos fatores sociais, políticos e culturais.

Apesar de todo esse desequilíbrio e destruição, o conceito da qualidade, já praticado desde os primórdios das civilizações, passou a ser empregado como atenuante aos desperdícios, numa época em que tudo era muito escasso e de custo elevado.

Como descreve Paladini (1995), a qualidade evoluiu desde a antiguidade, quando os belos detalhes e a precisão já eram empregados.

Com o aumento acelerado da produção no início do século XX, a avaliação individual era determinante para o volume de produtos acabados, pois os defeitos somente eram detectados ao final de todo o processo, gerando retrabalho e desperdício de materiais.

Surgiram então os primeiros modelos estatísticos de inspeção desenvolvidos segundo Paladini (1995) em 1924 por Walter Shewhart. Passou-se a supervisionar o fluxo produtivo e aplicar técnicas de amostragem para a verificação da qualidade do produto final.

Porém somente nos anos 40 registrou-se oficialmente o controle estatístico da qualidade, e já em 1944 foi fundada a “American Society for Quality Control (ASQC).

Dez anos após o fim da guerra, em 1955, os *experts* da administração, Deming e Juran contribuíram na organização industrial principalmente no Japão onde aplicaram os conceitos da qualidade caracterizado pela adição de um diferencial pelos japoneses, que foi a inclusão da qualidade de vida da população como parte do programa. Devido a isso, a educação foi o propulsor para o rápido sucesso que mais tarde serviria de base para muitos outros países em desenvolvimento.

Logo depois surgiram as técnicas para o controle de processo introduzidas por Ishikawa, cujo foco passou a identificar e corrigir os problemas durante o fluxo das operações evitando assim o retorno dos produtos somente ao final da fabricação.

Segundo Paladini (1995), a evolução da qualidade continuou e, em 1963, Armand Feigenbaum demonstrou a necessidade da qualidade não somente em áreas fabris, mas por toda a empresa. Também nesse período surgiram o conceito americano do “Zero Defeito” e o japonês dos “Círculos de Controle da Qualidade – CCQ” seguidos dos lançamentos de publicações até hoje de extrema importância, como o periódico “Quality Progress” e a regulamentação legal sobre a segurança, denominada “*Consumer Product Safety Act*” no ano de 1967, relacionado aos processos de fabricação, embalagem e conservação dos produtos alimentícios.

No mesmo período de evolução desse novos conceitos para a qualidade, surgem as primeiras manifestações de alerta para com a poluição dos rios, a chuva ácida provocada pela emissão de gases em alguns países e a redução da camada de ozônio.

Como esses problemas ambientais ultrapassaram fronteiras e o domínio dos governos, era preciso então desenvolver instrumentos capazes de mobilizar interesses internacionais. Foi quando surgiram os grupos de interesses para discussão da chamada Questão Ambiental.

No início da década de 70, nota-se que a qualidade e a preocupação ambiental demonstraram objetivos diferenciados, um visando a qualidade dos processos e o outro direcionado aos resultados e efeitos ambientais causados por estes.

Alguns anos depois, dois conceitos para a qualidade foram evidenciados conforme Garvin (1992), o europeu que adota especificações rígidas para as relações de compra e venda, e o conceito americano baseado no marketing, no qual os esforços para a qualidade visam atender às necessidades dos clientes comerciais.

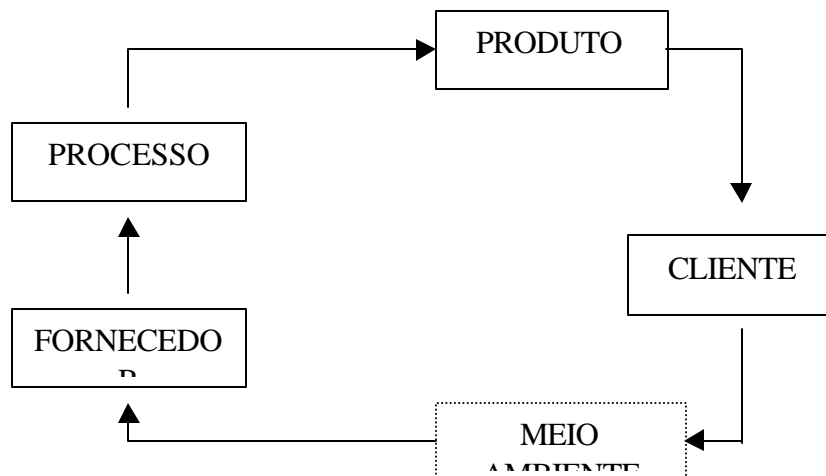
Com o surgimento do conceito da Qualidade Total, modelos de integração da qualidade como os demonstrado por Paladini (1995) vieram com o objetivo de disseminar a qualidade nos demais ambientes.

Chamado de Integração Externa, um dos modelos apresentados pelo autor envolve as seguintes ações:

- integração com fornecedores;
- integração com clientes;
- integração com o meio ambiente.

Com isso surge o vínculo estruturado da qualidade interagindo com a questão ambiental, ou seja, o ciclo da qualidade total como mostra a Figura 2.1.





**Figura 2.1** – Integração externa da qualidade total. Fonte: Paladini(1995)

Desenvolvida por W. Edwards Deming e posteriormente incrementada por Genichi Taguchi, Joseph Juran e Philip Crosby, a Gerência da Qualidade Total –GQT ou, Total Quality Management – TQM, mudou a prática da qualidade ao final do processo para um sistema reestruturado, quando toda a organização passa a trabalhar com equipes de cooperação e alto grau de envolvimento do empregado. Tal mudança permite a comunicação entre todos seus níveis e setores.

Entretanto, a GQT também busca a melhoria contínua da qualidade, o que muitas vezes, segundo Callenbach *et al* (1993), torna o trabalho um grande gerador de *stress*, o que ocasionalmente pode prejudicar os resultados.

Outra forma apresentada na mesma obra, alerta quanto ao foco na satisfação do consumidor, pois poderá inibir a retirada ou o lançamento de produtos em evidência, embora não atendendo ao lado ambiental do sistema da qualidade total.

A popularização da qualidade ganhou força com o projeto de unificação da economia européia, o qual motivou a conciliação dos interesses de produtores, governos, consumidores e da comunidade científica.

Em 1987 surgia na Europa a família de normas ISO 9000, elaborada pelo Comitê Técnico 176 e aprovada junto à *International Organization for Standardization* – ISO. A série é

inicialmente composta pelas normas ISO 9001, 9002, 9003 e 9004, visando garantir ao cliente que os requisitos contratuais com seus fornecedores seriam cumpridos.

Difundidas rapidamente por todo o mundo, muitas instituições passaram a adotá-las como padrão de qualidade e em 1991 foi publicada a ISO 9004/2, destinada a fornecer diretrizes para a implementação de sistemas da qualidade na área de serviços.

Como demonstrado por Castro (2000), nesse mesmo período vários indicadores apresentaram crescimentos representativos e no Brasil a busca pela sobrevivência das empresas do ramo produtivo e de serviços apontava a normalização e os sistemas de gestão pela Qualidade Total como a forma consistente para o desenvolvimento em tempo de abertura de mercado.

Fatos como a criação do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQP), do Código de Defesa do Consumidor e do Prêmio Nacional da Qualidade marcaram o ano de 1991, quando o objetivo era atender às necessidades dos clientes.

O mesmo autor descreve que “Com o aumento da produtividade e da qualidade, as empresas começaram a ter significativa redução de perdas, desperdícios, custos, prazos de entrega, retrabalho, reclamações, com reflexos favoráveis no seu desempenho, resultados e competitividade.”.

Em Arnoud (1994), encontra-se a seguinte definição: “a norma ISO 9000 nada mais é do que um conjunto de diretrizes para realizar negócios em um nível de classe mundial”.

Umeda (1996) considera como um conjunto de critérios da qualidade, parte essencial de um sistema de Gestão da Qualidade Total – GQT.

Para Pyzdek (1999), “As empresas certificadas pela ISO 9000 rotineiramente fabricam produtos com qualidade inferior, os vencedores do Prêmio Baldrige abrem falência, e os vencedores do Prêmio Deming têm registros desoladores em relação à satisfação dos clientes”.

Segundo o mesmo autor, a abordagem dessas normas é baseada em padrões militares dos anos 40 e acompanha conceitos desenvolvidos por Taylor na primeira década do século XX, e finaliza: “Tecnicamente, estamos estagnados.”.



Gunter *apud* Pyzdek, (1999), também partilha de que os métodos empregados para análises da qualidade estão ultrapassados e comenta: “ As planilhas de controle já têm 70 anos de idade, os métodos de Taguchi estão com cerca de 50” .

Além dessas observações, os autores acima defendem a flexibilidade e a liberdade de controle como ferramentas para o processo criativo de modernização da qualidade.

Essa nova proposta de gestão criativa reduz consideravelmente o custo e os prazos de implantação e de retorno do investimento, uma vez que pode ser desenvolvido de forma personalizada pela própria organização evitando o transtorno de adaptar-se toda a empresa a modelos pré-fabricados, dificilmente viáveis para distintas condições financeiras, aspectos culturais e ramos de atividades.

Chamadas de ISO 9000:2000, as normas dessa série estão sendo reavaliadas com o objetivo de expandir e facilitar sua utilização em segmentos cada vez mais diversificados, passando a simplificar e integrar a gestão ambiental e a conformidade com a ISO 14000.

Como apresenta Paton (2000), esse movimento tem gerado outras normas com conteúdo mais especializados, como no caso da QS 9000 voltada ao setor automotivo, a TL 9000 para as telecomunicações e a AS 9001 direcionada a atividades aeroespaciais.

Paton (2000) ainda prevê que nos próximos dez anos deverá ocorrer cada vez mais a personalização das normas de acordo com cada atividade específica como: metalurgia, cerâmica, plásticos e prestação de serviços, entre outras. Vale salientar que a divulgação e o intercâmbio proporcionado pelas telecomunicações permitem que outras nações desenvolvam e exportem técnicas para a qualidade, como feito pelo Japão em décadas recentes.

Enquanto há perspectiva de novas normas, já é realidade que muitas empresas têm investido na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis, buscando o crescimento rápido de forma a se manter no acirrado mercado global.

## **2.2 – A Evolução da Qualidade Ambiental**

Composta de estudiosos em ciências, foi realizada em Paris no ano de 1968 a Conferência sobre a Biosfera, um marco que despertou a consciência ecológica mundial.

Logo no ano seguinte, em 1969, como descreve Meadows (1972), houve a preparação de um relatório para o Clube de Roma baseado em teses malthusianas. O referido documento, denominado de Limites do Crescimento, relata as seguintes conclusões:

“Caso as tendências de crescimento da população mundial, industrialização, produção de alimentos, poluição e consumo de recursos se mantiverem imutáveis, os limites do crescimento neste planeta seriam alcançados dentro dos próximos 100 anos”.

Segundo o relatório, os possíveis resultados seriam demonstrados pela redução descontrolada da população mundial e da capacidade fabril dos países industrializados, inclusive da produção de alimentos.

Ainda em 1969, foi proposto pelo governo da Suécia à Organização das Nações Unidas (ONU) a realização de um evento de abrangência internacional onde deveriam ser discutidos esses problemas. Talvez a lembrança do desastre ecológico de Minamata no Japão, onde o mercúrio despejado pelas empresas ao mar provocou a morte de centenas de pessoas, tenha sido a alavanca para a receptividade dessa proposta que obteve sua concretização somente em 1971 em Fournex na Suíça, com a reunião preparatória para a conferência a ser realizada em Estocolmo.

Nessa reunião inicial, como relata Barbieri (1997), foram identificados os principais problemas e as propostas dos extremistas das correntes malthusianas que pregavam um freio no desenvolvimento econômico devido à incapacidade da tecnologia em superar os problemas ambientais.

Já as correntes cornucopianas, segundo Barbieri (1997), acreditavam no estoque ilimitado dos recursos naturais e na perfeita reparação, através de ações tecnológicas, dos problemas ambientais resultantes do livre e descontrolado crescimento da industrialização.

Finalmente em junho de 1972, aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano onde foram firmadas bases para a integração entre o meio ambiente e o

desenvolvimento, originadas pelas argumentações expostas pelas potências industriais e pelos países em desenvolvimento, estes, até então os alvos para a aplicação dos conceitos de preservação dos recursos naturais o que os colocaria em posição de impedimento ao crescimento tecnológico e à melhoria da própria condição de vida de suas populações.

Apesar das diferenças e da complexidade dos temas debatidos, a Conferência de Estocolmo representou um avanço nas negociações entre as nações, deixando registrado oficialmente a pauta ambiental nas agendas internacionais.

O documento com as conclusões do evento foi publicado sob o título de “Declaração de Estocolmo” no qual consta o lema *Only one earth* que, traduzido para a língua portuguesa, significa “Somente uma Terra” e apresenta a necessidade de elaboração de novos instrumentos para tratar dos problemas de caráter planetário. O resultado foi a criação na ONU do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Em 1974 durante a Assembléia Geral da ONU foi adotada uma declaração sobre uma nova ordem econômica mundial onde se destacaram:

- a regulamentação e supervisão das corporações transnacionais em função dos interesses nacionais;
- a necessidade de implementar trocas justas entre as nações;
- o acesso à ciência e tecnologia pelos países em desenvolvimento;
- a necessidade de eliminar os desperdícios, e dar condições ambientalmente viáveis ao uso dos recursos naturais no desenvolvimento dos países em fase de crescimento.

Sachs (1993) que esteve presente em todas as reuniões para a Conferência de Estocolmo, descreve as divergências de interesses e de pensamentos que deram origem a um novo conceito chamado de “ecodesenvolvimento” que em 1980, com a evolução da questão ambiental, passaria a ser denominado de “desenvolvimento sustentável”.

Esse termo, até então desconhecido, foi usado no documento *World Conservation Strategy*, IUNC (1980) para demonstrar uma estratégia global com os seguintes objetivos:

- manter os processos ecológicos essenciais e os sistemas naturais vitais necessários à sobrevivência e ao desenvolvimento do Ser Humano;
- preservar a diversidade genética;
- assegurar o aproveitamento sustentável das espécies e dos ecossistemas que constituem a base da vida humana.

A meta principal desse termo é manter os recursos da Terra para sustentar o desenvolvimento, levando em consideração a capacidade dos ecossistemas e as necessidades das futuras gerações.

Em nova Assembléia Geral, a ONU institui em 1983 a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) conhecida como a Comissão de Brundtland devido seu primeiro presidente Gro Harlen Brundtland.

Os objetivos dessa comissão seriam direcionados à questão ambiental, porém de forma inteligente seus integrantes perceberam que o meio ambiente está integrado com outras forças correlacionadas como os ambientes: cultural, político, demográfico, econômico, entre outros, cujas necessidades humanas participam direta ou indiretamente de forma diferente em cada comunidade. Afinal, todos estão inseridos no ambiente natural.

Com isso, os objetivos da Comissão foram expostos na seguinte maneira, conforme CMMAD (1991):

- propor estratégias ambientais de longo prazo para obter um desenvolvimento sustentável por volta do ano 2000 e daí em diante;
- recomendar maneiras para que a preocupação com o meio ambiente se traduza em maior cooperação entre os países em desenvolvimento e entre os países em estágios diferentes de

desenvolvimento econômico e social, e leve à consecução de objetivos comuns e interligados que considerem as inter-relações de pessoas, recursos, meio ambiente e desenvolvimento;

- considerar meios e maneiras pelos quais a comunidade internacional possa lidar mais eficientemente com as preocupações de cunho ambiental;
- ajudar a definir noções relativas comuns a questões ambientais de longo prazo e os esforços necessários para tratar com êxito os problemas da proteção e da melhoria do meio ambiente.

Em 1987, a CMMAD concluiu seus trabalhos apresentando um relatório final intitulado “Nosso Futuro Comum”, cujo conteúdo conceitua o desenvolvimento sustentável como: “um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas”.

Nesse documento, outros temas são tratados como a relação entre a pobreza e degradação ambiental, e a carência tecnológica dos processos produtivos e do uso das matérias-primas de forma sustentável.

Conforme Andrade *et al* (2000), outro documento importante foi elaborado pela Câmara de Comércio Internacional em 1991 denominado de Carta Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável.

Seu conteúdo, demonstra Andrade *et al* (2000), tem 16 princípios que auxiliam as empresas a cumprir suas obrigações para com o meio ambiente. Sua apresentação oficial se deu no mesmo ano, durante a Segunda Conferência Mundial da Indústria sobre a Gestão Ambiental – WICEM II.

As considerações da referida carta, segundo Andrade (2000), demonstram que: “as organizações versáteis, dinâmicas, ágeis e lucrativas devem ser a força impulsora do desenvolvimento econômico sustentável, assim como a fonte da capacidade de gestão e dos recursos técnicos e financeiros indispensáveis à resolução dos desafios ambientais”.

Outra análise do documento demonstra que a melhoria da qualidade e do meio ambiente devem estar sintonizadas com as variáveis macroambientais, como apresentado na Figura 2.2.

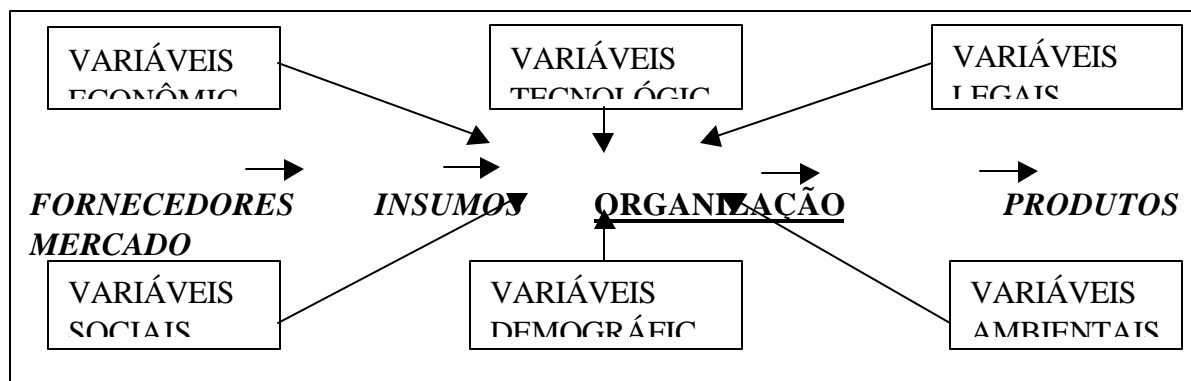


Figura 2.2 - Integração das variáveis com a organização. Adaptado de Andrade (2000)

Os setores de marketing empregam a integração dessas chamadas forças macroambientais e dotam as áreas técnicas de recursos suficientes ao desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos, os chamados “produtos verdes”.

O lançamento desses produtos passaram a acompanhar os “selos ecológicos” cujo objetivo é a identificação e divulgação ao consumidor de que aquele produto é fabricado dentro dos padrões técnicos considerados sustentáveis. Nos Estados Unidos, os selos *Green Cross* e *Green Seal* são conferidos sob análise dos seguintes itens: embalagem, biodegradabilidade, eficiência energética e o ciclo de vida dos produtos.

Pode-se considerar que a década de 90 foi marcada pelo *start* da preocupação ambiental em todos os meios e níveis da sociedade e, acredita-se que o ponto de partida tenha sido a conferência do Rio de Janeiro em 1992.

Por ocasião do 20º aniversário da Conferência de Estocolmo, foi realizada em junho de 1992, na cidade do Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD. O evento contou com a participação de 178 países, sendo considerada a maior já realizada no âmbito da ONU.

Outro evento aconteceu paralelamente, o Fórum Global das Organizações Não-Governamentais (ONGs), onde estiveram presentes 4000 entidades da sociedade civil de todo o mundo que juntas discutiram e aprovaram 36 documentos e planos de ação. Ao acontecimento que

reuniu esses dois eventos foi dado o nome popular de ECO – 92, ficando também conhecida como Rio – 92.

Cinco documentos de extrema importância foram aprovados na CNUMAD:

- Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento;
- Convenção sobre Mudanças Climáticas;
- Declaração de Princípios sobre as Florestas;
- Convenção sobre a Biodiversidade;
- Agenda 21.

A Declaração do Rio, como é chamada, tem o objetivo de “estabelecer acordos internacionais que respeitem os interesses de todos e protejam a integridade do sistema global de ecologia e desenvolvimento” (Andrade, 2000, p.2).

Reunindo 27 princípios como mostra Barbieri (1997), na realidade, esse documento é uma reafirmação e ampliação da Declaração de Estocolmo e foi aprovada sob muitas divergências entre os representantes dos países desenvolvidos e os do chamado terceiro mundo cuja proposta era de que as potências industrializadas fossem reconhecidas como os maiores responsáveis pela destruição ambiental.

A Agenda 21, segundo seu próprio texto, “está voltado para os problemas prementes de hoje e tem o objetivo, ainda, de preparar o mundo para os desafios do próximo século” .

### 2.2.1 – A Agenda / Programa 21

O documento conhecido como Agenda 21, foi redefinido pela ONU para Programa 21 por ser na realidade um plano de ação para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável com base nos trabalhos elaborados nas reuniões preparatórias para a CNUMAD. A Agenda inclui as

pautas sobre a biodiversidade, mudança do clima, ciência, tecnologias ambientalmente corretas entre outros assuntos de interesse global.

Conforme o Diário Oficial da União - D.O.U. (1994), a Agenda 21 está dividida em 40 capítulos distribuídos por 4 seções onde são abordados os temas do Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Temas da Agenda 21

Capítulo 1	Preâmbulo
Seção I (do capítulo 2 ao 8)	Aspecto social do desenvolvimento sustentável.
Seção II (do capítulo 9 ao 22)	Dimensões ambientais e as recomendações para preservação dos recursos naturais e dos ecossistemas.
Capítulo 23	Preâmbulo da Seção III
Seção III (do capítulo 24 ao 33)	Desenvolve a integração entre os diversos grupos sociais e o meio ambiente, visando atingir a participação de todos para um desenvolvimento sustentável.
Seção IV (do capítulo 34 ao 40)	Demonstra os meios e estruturas financeiras, tecnológicas e educacionais, etc., necessárias à implementação das recomendações expostas nos capítulos anteriores.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DOU (1994).

O capítulo 21 da Agenda propõe o gerenciamento integrado do ciclo de vida do produto (*integrated life cycle management*) como forma única de conciliação do crescimento econômico com a proteção ambiental, ou seja, para a redução dos resíduos sólidos é necessária uma análise dos impactos do produto sobre o meio ambiente abordando todas as fases, desde a exploração das matérias-primas, seu beneficiamento e transformação nos processos de produção, da comercialização, uso, manutenção, descarte e, até a possibilidade de recuperação e/ou reciclagem.

Após todas essas fases, ainda deve-se monitorar a disposição dos resíduos finais gerados em cada atividade pois, conforme Andrade *et al.* (2000), cada organização apresenta aspectos e



impactos ambientais específicos e com abrangência distinta. Tal afirmação pode sugerir resultados diversos para cada tecnologia ou métodos aplicados para o processamento de um mesmo material.

O conhecimento dos aspectos e impactos ambientais referentes a um produto durante seu ciclo de vida permite a adequação do conceito de produção limpa (*Cleaner Production*), pois o gerenciamento do consumo de recursos naturais e energia, o controle das emissões e o desempenho produtivo, proporcionarão a conformidade desse produto aos padrões do desenvolvimento sustentável.

Dentro da mesma proposta, estão presentes no capítulo 21, áreas-programas para aplicação dos conceitos de: redução dos resíduos ao mínimo; maximização da reutilização e reciclagem; disposição e tratamento adequado dos resíduos; e ampliação da abrangência dos serviços correlacionados.

No capítulo 30, que trata do papel da indústria e do comércio, encontra-se a Área de Programa A - Promoção de uma produção mais limpa. Seu objetivo é apresentado no item 30.6. sob o seguinte texto:

“ Os Governos, as empresas e as indústrias, inclusive as empresas transnacionais, devem tratar de aumentar a eficiência da utilização de recursos, inclusive com o aumento da reutilização e reciclagem de resíduos, e reduzir a quantidade de despejo de resíduos por unidade de produto econômico.”

São demonstradas diversas atividades recomendando a parceria com os diversos órgãos da sociedade pública e civil para trabalharem pelo desenvolvimento e implementação de conceitos e metodologias que permitam o uso de sistemas de produção mais limpos.

## 2.3 – Conceito de Produção Limpa

Como demonstrado em PNUMA (1993), o conceito de produção Limpa (*cleaner production*) refere-se à produção integrada à proteção ambiental de forma mais ampla, considerando todas as fases do processo produtivo e o ciclo de vida do produto final.

Para a aplicação desse conceito são necessárias ações contínuas e integradas para conservar energia e matéria-prima, substituir recursos não-renováveis por renováveis, eliminar substâncias tóxicas e reduzir os desperdícios e a poluição resultante dos produtos e dos processos produtivos.

Além de uma concepção tecnológica particular e concretamente definida para uma unidade ou sistema produtivo, a *cleaner production* é uma estratégia tecnológica de caráter permanente que se contrapõe às soluções que objetivam apenas controlar a poluição atuando no final do processo produtivo (*end-of-pipe technology*).

Ainda de acordo com PNUMA (1993), quando uma solução tecnológica do tipo *end-of-pipe* é introduzida em um processo industrial, os impactos ambientais se reduzem imediatamente, porém, os aspectos continuam existindo pois não houve prevenção e sim uma ação paliativa de caráter corretivo, elevando normalmente os custos sociais e privados. Além disso, trata-se de uma solução reativa e seletiva, geralmente introduzida para atender aos padrões de emissão ou de qualidade ambiental estabelecidos pela regulamentação governamental.

A solução tecnológica do tipo *end-of-pipe* corre atrás dos prejuízos ambientais causados por um sistema produtivo, remediando os seus efeitos, mas sem combater as causas que os produziram.

Seu alcance é limitado, reduz mas não elimina a degradação ambiental, pois sempre resulta na transferência de poluição de um ambiente para outro. Exemplo, o tratamento de águas residuárias para controlar a poluição hídrica produzida por um processo industrial gera resíduos sólidos que ocupam espaços do solo que poderiam ser utilizados para outras finalidades; se esses resíduos contêm substâncias tóxicas, eles devem ser depositados em aterros especiais para não contaminar o meio ambiente. Por essas razões, esse tipo de solução tecnológica contribui pouco para aumentar a sustentabilidade dos recursos naturais, sejam eles renováveis ou não.

Ao contrário, as tecnologias de *produção mais limpa* contemplam mudanças nos produtos e seus processos de produção para reduzir ou eliminar todo tipo de rejeitos antes que eles sejam criados. Dessa forma, elas contribuem para ampliar a sustentabilidade dos sistemas naturais, tanto pela redução da necessidade de insumos para um mesmo nível de produção, quanto pela redução da poluição resultante do processo de produção, distribuição e consumo.

Os produtos devem ser projetados para facilitar a sua fabricação, utilização e disposição final após a sua vida útil. Isso faz com que os fabricantes continuem responsáveis, melhor dizendo, co-responsáveis pelos seus produtos mesmo após a sua venda e consumo, juntamente com os seus usuários ou consumidores.

Essa é uma exigência decorrente da necessidade de ampliar a sustentabilidade dos ecossistemas através de novas práticas produtivas e mercadológicas que contemplem: redução da quantidade de insumos e, conseqüentemente, da geração de resíduos pela adoção de tecnologias de produto e processo mais eficientes, reutilização e reciclagem de materiais, ou seja, através do que convencionou-se denominar de Política dos 3 erres.

Segundo Borges (1999), o objetivo dessa política é eliminar as causas da degradação ambiental ou, através de ações preventivas, minimizar a geração dos poluentes na fonte, o que significa reduzir o uso de materiais e energias para uma quantidade suficiente à produção.

Isso exige a adoção de providências como as seguintes:

- aperfeiçoamento dos processos produtivos para torná-los mais eficientes;
- revisão dos projetos dos produtos para facilitar a sua produção e ampliar o seu desempenho;
- utilização de matérias-primas com maior grau de pureza;
- eliminação ou minimização de materiais perigosos;
- recuperação das águas utilizadas nos processos;
- manutenção preventiva;
- procedimentos para conservação de energia;

- gestão de estoques que minimize as perdas por quebra em manuseio, obsolescência e perecibilidade;
- realização de monitorias e auditorias em bases sistemáticas;
- treinamento e conscientização dos operadores, transportadores, fornecedores, empreiteiros e usuários.

Mesmo com esses cuidados, sempre restarão alguns tipos de resíduos que deverão ser segregados em função do seu grau de periculosidade e do seu potencial de uso futuro. Os resíduos que não são passíveis de reaproveitamento deverão ser tratados e dispostos de modo seguro.

Por reutilização ou re-uso entende-se o reaproveitamento de materiais, que conservam as suas propriedades ou características originais mesmo após terem sido usados, para uso idêntico ou semelhante como é o caso das embalagens retomáveis.

A reciclagem é a transformação dos resíduos em novas matérias-primas, envolvendo a coleta de resíduos, processamento e comercialização. A reciclagem reduz a necessidade de espaços destinados aos lixos domésticos e industriais, e o seu processamento geralmente exige menos insumos, comparativamente ao processamento para obtenção de materiais originais. Segundo Aqualung (1998), a reciclagem de vidro, por exemplo, consome em média 35% menos energia e 20% menos de água do que a fabricação de vidro original; a reciclagem do aço, 50% de energia e 60% de água a menos.

As práticas de produção e consumo que contemplem de modo sistemático a minimização da geração de poluição na fonte, reutilização e reciclagem de materiais reduzem as taxas de esgotamento dos recursos não-renováveis e as necessidades de produção e extração de recursos renováveis, contribuindo dessa forma para ampliar a sustentabilidade dos sistemas naturais.

## **2.4 – Aspectos e Impactos Ambientais segundo a ABNT ISO 14001**

Segundo a norma NBR ISO 14001 (1996), em seu requisito 4.3.1, o aspecto ambiental é definido como: “elemento das atividades, produtos e serviços de uma organização que pode

interagir com o meio ambiente”. Também esclarece que: “um aspecto ambiental significativo é aquele que tem ou pode ter um impacto ambiental significativo”.

Para a definição de impacto ambiental, a norma descreve: “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização”.

A norma em estudo expõe que o processo de avaliação para determinação da significância dos aspectos ambientais deve percorrer as seguintes etapas:

- Identificação dos aspectos ambientais por atividade, produto ou serviço;
- Identificação dos impactos ambientais por aspecto identificado;
- Avaliação da significância dos impactos identificados;
- Atribuição da significância do aspecto em função da significância dos impactos correlacionados.

#### 2.4.1- Identificação dos aspectos ambientais

A norma NBR ISO 14001 (1996) no anexo A3.1, descreve de forma genérica os seguintes tipos de aspectos ambientais:

- emissões atmosféricas;
- lançamentos em corpos d’água;
- geração de resíduos;
- uso do solo;
- uso de matérias-primas e de recursos naturais.

Identificados os aspectos ambientais, a norma recomenda uma análise para determinar a condição de processo em que ocorrem.

A condição, na verdade, refere-se ao estado da atividade no momento em que ocorre um ou mais aspectos ambientais. Isto é, poderá ser na partida, durante a operação, por falha, na baixa ou na produção excessiva, ou mesmo na parada.

O mesmo anexo A3.1 da norma, recomenda que para a avaliação dos aspectos ambientais, sejam consideradas distintas condições de operação e, descreve da seguinte forma:

“É recomendado que o processo considere as condições normais de operação, e as de parada e partida, bem como o potencial de impactos ambientais significativos associado a situações razoavelmente previsíveis ou de emergência... O processo tem por objetivo identificar aspectos ambientais significativos associados a atividades, produtos ou serviços, não sendo sua intenção exigir uma avaliação detalhada do ciclo de vida”.

Conforme Carvalho (1998), quando identificados os aspectos, a empresa deve fazer a classificação quanto à categoria conforme apresentada no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Classificação dos Aspectos Ambientais.

CATEGORIA DO ASPECTO	CLASSIFICAÇÃO	SIGNIFICADO SEGUNDO ISO 14001
QUANTO AO CONTROLE	DIRETO	AQUELE QUE A EMPRESA EXERCE OU PODE EXERCER CONTROLE
	INDIRETO	AQUELE EM QUE A EMPRESA APENAS PODE EXERCER INFLUÊNCIA JUNTO ÀS PARTES
QUANTO À DETECÇÃO	REAL	AQUELE QUE OCORRE E APRESENTA IMPACTO SOBRE O
	POTENCIAL	AQUELE QUE PODE OCORRER E PODERÁ PROVOCAR IMPACTO SOBRE O MEIO AMBIENTE, EM

Fonte: adaptado de Carvalho (1998,p72 )

Essa classificação mostra que os impactos diretos e reais são passíveis de controle operacional por parte da empresa. O requisito 4.4.6 da norma NBR ISO 14001(1996), recomenda a manutenção, monitoração, controle e medição para esses aspectos ambientais.

#### 2.4.2 – Identificação dos impactos ambientais

Segundo a norma ABNT ISO 14001(1996), os impactos ambientais ocorrem nos meios: físico, biótico, antrópico e nos recursos naturais, relacionando-se com componentes da natureza como demonstrado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Meios e Impactos Ambientais

MEIO	COMPONENTE	EXEMPLOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS
FÍSICO	AR	- CONTAMINAÇÃO DA ATMOSFERA - ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DO AR
	ÁGUA	- POLUIÇÃO DOS MANANCIAIS - ALTERAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA - DEGRADAÇÃO DE RECURSOS POLUIDOS
	SOLO	- EROSÃO - DESNUTRIÇÃO OU NUTRIÇÃO
BIÓTICO	FÁUNA / FLORA	- EXTINÇÃO DAS ESPÉCIES - DESEQUILÍBRIO ECOLÓGICO
ANTRÓPICO	SEGURANÇA E SAÚDE	- LESÕES COLETIVAS - DOENÇAS RESPIRATÓRIAS
	PAISAGEM	- DESERTIFICAÇÃO - REFLORESTAMENTO

Fonte: Adaptado de Carvalho (1998)

Essa relação é demonstrada pela norma, quando define o meio ambiente como: “circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações”.

Segundo Carvalho (1998), há uma evolução da influência dos impactos ambientais em relação ao meio quando analisada a passagem do meio físico para o biótico, e em seguida para o antrópico.

O mesmo autor, descreve que os impactos ambientais podem ser classificados quanto à significância, representada pelos graus de severidade quando significativos ou, de atratividade para os considerados benéficos ao meio ambiente. Esta colocação é demonstrada no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Classificação da significância dos impactos ambientais

SEVERIDADE	SIGNIFICADO DA MUDANÇA AMBIENTAL ADVERSA
BAIXA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NÃO COMPROMETE A VIDA, PORÉM CAUSA DANOS REVERSÍVEIS;</li> <li>- NÃO INTERAGE COM AS LEIS, NEM COM AS</li> </ul>
MÉDIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CAUSA DANOS REVERSÍVEIS À VIDA ANIMAL E VEGETAL;</li> <li>- CAUSA DANOS IRREVERSÍVEIS AO MEIO FÍSICO SEM</li> </ul>
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CAUSA DESTRUIÇÕES IRREVERSÍVEIS DA VIDA ANIMAL E VEGETAL, AFETANDO A SAÚDE DO HOMEM;</li> <li>- INTERAGE OU PODE INTERAGIR COM A LEGISLAÇÃO.</li> </ul>
ATRATIVIDADE	SIGNIFICADO DA MUDANÇA AMBIENTAL BENÉFICA
BAIXA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FAVORECE O MEIO FÍSICO SEM FAVORECER DIRETAMENTE A VIDA;</li> <li>- NÃO MELHORA A SITUAÇÃO DA EMPRESA EM</li> </ul>
MÉDIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FAVORECE A FAUNA/FLORA SEM ABRANGER O SER HUMANO;</li> <li>- RELACIONA-SE AO INTERESSE GLOBAL SEM ABRANGER</li> </ul>
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FAVORECE A QUALIDADE DE VIDA DO SER HUMANO;</li> <li>- ASSEGURA À ORGANIZAÇÃO, O ATENDIMENTO ÀS LEIS E AO INTERESSE AMBIENTAL GLOBAL.</li> </ul>

Fonte: adaptado de Carvalho (1998)



Na classificação, o fato importante é o conhecimento da organização ao grau de significância dos impactos gerados pelos aspectos ambientais, provenientes de sua atividade ou processo.

#### 2.4.3 – Processo de avaliação

Após a identificação, os elementos devem ser avaliados para se determinar sua importância e a prioridade para tratamento. O objetivo desta fase é permitir a tomada de decisão para que sejam eliminados ou reduzidos os aspectos ambientais significativos

Para a avaliação dos impactos relacionados aos aspectos ambientais, Carvalho (1998) sugere a utilização de uma tabela simplificada. Um exemplo é apresentado no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais

AVALIAÇÃO DO PROCESSO			
<b>ÁREA:</b> UNIDADE	<b>RESPONSÁVEL:</b> PROCESSO	ENG <sup>IA</sup> DE	<b>DATA:</b> 10.04.00
<b>CLASSIFICAÇÃO DO ASPECTO</b>		<b>CONTROLE:</b> DIRETO	
<b>CONDIÇÃO</b> PRODUÇÃO ( )	PARTIDA ( )	CONTINUA ( x )	BAIXA
<b>PROCESSO:</b>	PRODUÇÃO DE VAPOR	PRODUÇÃO DE VAPOR	
<b>ATIVIDADE:</b>	QUEIMA DE COMBUSTÍVEL	QUEIMA	DE
<b>ASPECTO:</b>	EMISSÃO DE GASES	EMISSÃO DE GASES	
<b>IMPACTO:</b>	CONTAMINAÇÃO DO AR	DOENÇAS	
<b>SEVERIDADE:</b>	MÉDIA	ALTA	

Fonte: adaptado de Carvalho (1998)

Analisando o exemplo demonstrado, pode-se verificar a ocorrência de dois impactos ambientais, com graus de severidade distintos, originados de um mesmo aspecto ambiental.

Outra consideração recomendada pela norma NBR ISO 14001(1996) é a escala de abrangência do impacto gerado, a qual pode ser avaliada como: isolada, se é restrita à área da empresa; limitada, se atinge até o limite circunvizinho à empresa; e amplo, para os casos em que a

influência do impacto ultrapasse as fronteiras conhecidas.

No entanto, é recomendável esclarecer que esta é uma avaliação superficial desenvolvida somente pelo pesquisador, quando para outros casos, esse procedimento deve ter caráter multi e interdisciplinar.

Para se atingir o objetivo desse trabalho, faz-se no próximo capítulo, um estudo aprofundado sobre o processo industrial em questão, de forma a permitir a integração dos conceitos ambientalmente corretos com as técnicas aplicadas no sistema produtivo.

## CAPÍTULO 3 - O PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DO ALUMÍNIO PRIMÁRIO

### 3.1 - O Alumínio Primário

O alumínio é um metal não ferroso extraído normalmente da bauxita, um minério encontrado em grandes quantidades em todo o mundo. Conforme a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 1994) é o metal mais importante dessa classe cujo desenvolvimento de produtos com custo competitivo e grande variedade de utilização resulta no êxito da aplicação dentro de suas principais propriedades, citadas entre elas: o baixo peso específico, a boa resistência à corrosão e a alta condutibilidade térmica e elétrica.

A bauxita é originada da reação química natural causada pela infiltração de água em rochas alcalinas, que entram em decomposição adquirindo uma nova fórmula com vários elementos, sendo predominante o óxido de alumínio. A extração é efetuada próxima à superfície com profundidade em torno de 5 metros, sendo utilizadas máquinas tipo retroescavadeiras.

O diagrama apresentado na Figura 3.1 representa os fluxos de obtenção da alumina e seus prováveis aspectos ambientais.

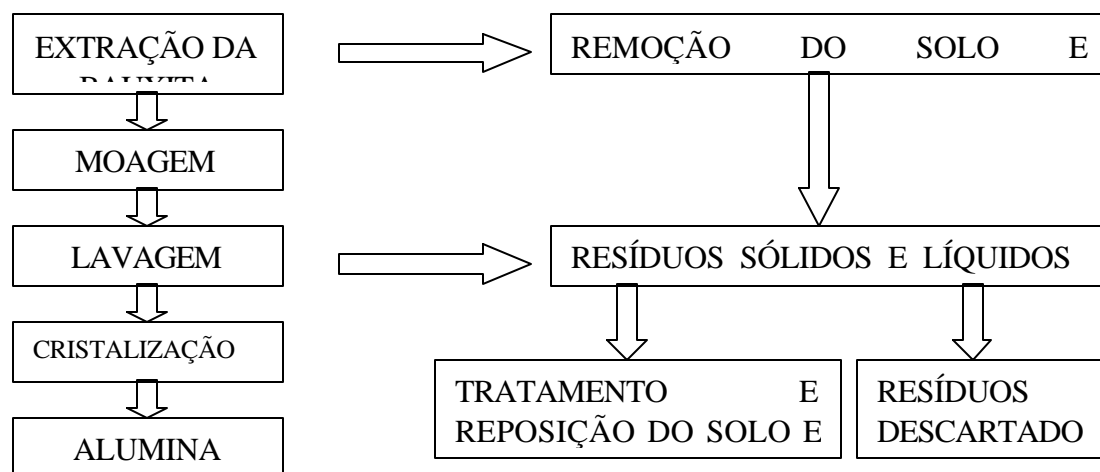


Figura 3.1 – Fluxo de obtenção da alumina e seus aspectos ambientais (o autor)

Para o processo de extração da bauxita, alguns cuidados precisam ser tomados para a proteção do meio ambiente. A terra e a vegetação acumulada sobre as jazidas são removidas e reservadas para posterior reposição nos locais de retirada do minério.

O minério é transportado para a fábrica em seu estado natural onde serão removidas todas as impurezas através de moagem com soda cáustica até a formação de uma pasta homogênea.

O próximo passo é o aquecimento sob pressão e a sedimentação das impurezas seguindo uma filtragem para a obtenção de uma solução limpa, básica à extração da matéria-prima. Em equipamentos precipitadores e por meio de um processo chamado de cristalização por semente, o material cristalizado é lavado e seco termicamente para que se obtenha o primeiro produto do processo de produção do alumínio: a alumina, um material em forma de pó de cor branca e refinado. Para a obtenção de uma tonelada de alumina são necessárias em média cinco toneladas de bauxita.

A alumina produzida passa por uma célula eletrolítica para sofrer redução, que consiste em romper a ligação entre o alumínio e o oxigênio através da eletricidade. Após esse processo, o metal primário é obtido no estado líquido, alimentado em moldes para o resfriamento e formação dos lingotes de alumínio primário, os quais serão fornecidos ao mercado de fundição e laminação entre outros.

O alumínio primário ou de primeira fusão apresenta, conforme Hatch (1990, p.1) designação do metal com 99,50% como grau de pureza comercial embora este possa chegar a 99,999%, classificado como alumínio ultra puro.

O caso em estudo trata dos materiais, não ligados, com pureza maior ou igual a 99,00%. Segundo a norma NBR 6834 *apud* ABNT (1986), estes são classificados com a referência 1100, e a parcela percentual complementar é composta por outros elementos como: silício, ferro, manganês, cobre, zinco entre outros.

Qualquer que seja o grau de pureza, o alumínio primário tem aplicação limitada como material estrutural e por isso necessita ser transformado através de processos como a fundição, laminação e extrusão para que se obtenha o metal com melhores características mecânicas e formas próprias à manufatura de produtos diversos.

## 3.2 - A Transformação do Alumínio Primário em Produtos

### 3.2.1 - Fundição

A fundição é a atividade básica de transformação do alumínio primário e consiste em colocar o material no estado líquido para permitir o enchimento correto de uma cavidade, a fim de obter após a solidificação uma peça com formato previamente projetado. Seu objetivo é produzir produtos de diversas formas e acabamentos a partir dos lingotes originados das empresas beneficiadoras de bauxita.

**Esse processo obedece a um ciclo padrão que consiste em primeiro lugar no carregamento do metal no forno, aquecido a uma temperatura superior ao ponto de fusão de 660,2 °C, segundo Gomes e Filho (1982).**

**No estado líquido, alguns fatores promovem o surgimento de defeitos no alumínio, principalmente a oxidação em toda a superfície do banho exposta ao ar e a absorção de hidrogênio.**

**Para solucioná-los, são efetuados tratamentos em outro forno onde o alumínio é mantido à temperatura controlada de 720°C a fim de receber os fluxos específicos para refinamento dos grãos, desgaseificação do hidrogênio absorvido e escorificação, ou seja, separação do óxido e borra oriunda das impurezas e principalmente da combustão. Em seguida ao tratamento, a remoção mecânica das escórias que sobrenadam no alumínio líquido assegura a obtenção de produtos com ausência de inclusões.**

Após o tratamento, o alumínio é transferido para a fundição em transportadores automáticos ou manuais e processado industrialmente em vários métodos gerais, conforme Gomes e Filho (1982), podendo ser: “fundição em areia (verde e estufada), em moldes permanentes ou semipermanentes e em máquina sob pressão (*die casting*)”.

Em relação a esses métodos, Fuoco (1995, p.27) descreve que é relevante analisar a forma em que o material é vazado, pois no caso de vazamento por gravidade e principalmente o feito sob pressão, provoca turbulência ao fluxo do metal originando óxidos. Para vazamento por gravidade, o uso de moldes metálicos (coquilhas) basculantes, filtros cerâmicos e canais de descida minimizam essa agitação.

Na pesquisa de campo pode-se constatar que o método mais aplicado nas fábricas de

painéis da região em estudo é o de produção de placas entre 8 e 12 kg através da fundição em coquilhas (*permanent-mold casting*) de ferro fundido cinzento com transporte e vazamento manual por gravidade. Conforme Fuoco (1995, p.29) é o segundo mais utilizado para produção em série, apresentando baixo custo em relação a outros citados, porém, observa que, o processo introduz dois problemas: “ a turbulência no canal de descida e falta de pressão para garantir a alimentação, particularmente em ligas de solidificação pastosa.”

Os próximos passos da fundição são: a solidificação, que no caso ocorre dentro da própria coquilha devendo ser mantida para o vazamento a uma temperatura média de 250 °C (150 e 350 °C) sendo que o nível ideal varia com a complexidade da peça, comenta Gomes e Filho (1982, p.50); e a desmoldagem, que consiste em extrair o produto da fundição já resfriado ou em temperatura acima de 350 °C, segundo ABAL (1994) no caso de materiais com destino à laminação a quente.

**Para manter controlada a temperatura, as coquilhas devem ser resfriadas sempre que ocorrer superaquecimento, evitando assim seu desgaste acelerado e variações no diferencial térmico durante o vazamento do metal líquido. O produto obtido é uma placa apropriada para as operações de laminação.**

### 3.2.2 - Laminação

A laminação é um processo mecânico que consiste na passagem de placas de alumínio por entre dois cilindros de eixos paralelos, apresentando como resultado a redução da espessura do material e a formação de chapas planas e bobinas, como ilustrado na Figura 3.2.

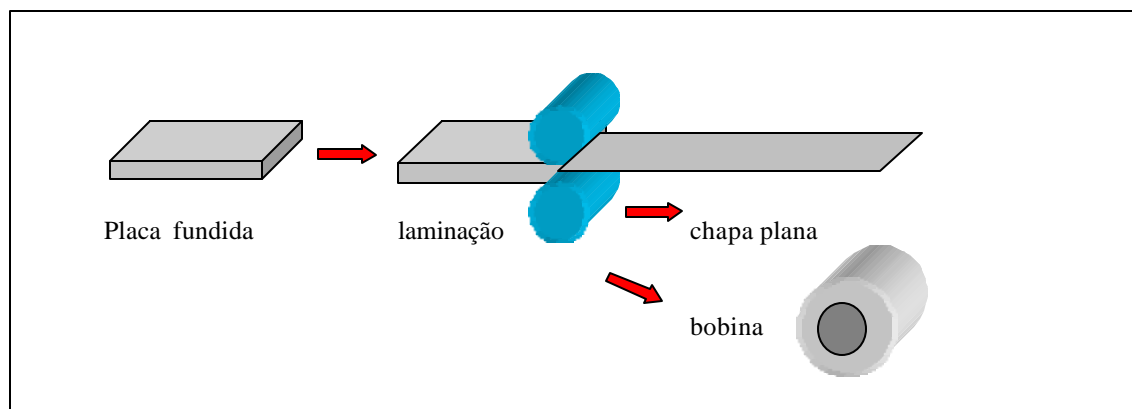


Figura 3.2 - Esquematização do processo de laminação – Adaptado de ABAL(1994)

Embora a laminação seja aparentemente simples, existem diferentes métodos e equipamentos utilizados pelas empresas transformadoras conforme citado na publicação da ABAL (1994).

Quando se deseja grandes reduções na seção transversal do material, aplica-se o processo de laminação a quente em máquinas com dois ou quatro cilindros sendo dois de trabalho e dois de apoio.

Equipamentos mais modernos apresentam sistemas como: laminação reversível e produção linear, que podem levar o material a espessuras da ordem de 3mm ainda dentro das especificações de laminado a quente.

A grande vantagem desse processo é a redução da quantidade de passes e por consequência do custo de operação, uma vez que os laminadores são equipados com motores elétricos de alta potência.

Em um fluxo de transformação normal, imediatamente após a fundição, o metal sólido à temperatura mínima de recristalização ( $\sim 350^{\circ}\text{C}$ ) e em formato de placas passa para o processo de laminação a quente para reduzir suas espessuras de 25 a 600mm até dimensões que podem variar entre 5 e 10mm.

Para trabalhos que antecedem a aplicação do alumínio laminado ou nos passes de acabamento, utiliza-se a laminação a frio, à temperatura ambiente, chegando-se a espessura de 0,6mm para chapas e 0,005mm no caso de folhas laminadas em duas camadas.

Nesse tipo de deformação, o alumínio sofre encruamento e aumento de seus limites de resistência. Seu controle de espessura e planicidade pode ser efetuado através de micrômetro ou no caso de máquinas mais modernas por sistemas computadorizados.

Os produtos resultantes da laminação são conhecidos como “laminados” sendo comercialmente fornecidos como matéria-prima para atividades mecânicas no ramo metalúrgico.

### 3.2.3 - Corte

O corte segundo Chiaverini (1977) é a operação de conformação mecânica realizada normalmente a frio na qual uma chapa laminada plana é submetida à ação de uma ferramenta ou

punção de corte, com o auxílio de prensas, onde o esforço de compressão é convertido em cisalhamento do material.

A finalidade dessa operação é a obtenção de formas geométricas predeterminadas pelo plano de corte desenvolvido com o projeto de produtos objetivando o aproveitamento máximo da matéria-prima. Na Figura 3.3 mostra-se um exemplo de distribuição otimizada de formatos em um plano de corte.

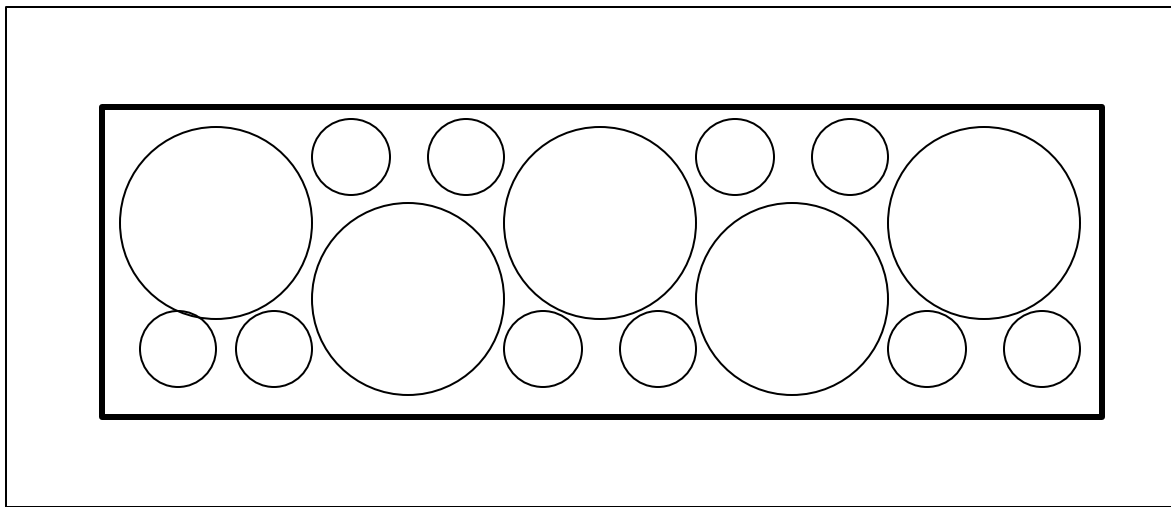


Figura 3.3 - Plano de corte de discos para uma lâmina retangular - o autor

Embora o corte permita a obtenção diversas formas, o estudo limita-se ao corte de discos circulares extraídos de lâminas em alumínio, com diâmetro e espessura apropriados ao tipo de produto e processo de fabricação.

#### 3.2.4 - Estados estruturais do alumínio - Têmpera

Segundo publicação da Billliton (1996), “O termo *têmpera* quando relacionado aos metais não ferrosos, tem o significado de estado da estrutura metálica e correspondentes propriedades físicas, resultantes de deformações a frio ou a quente, ou tratamento térmico, ou a combinação de ambos.”

As têmperas referentes às ligas não tratáveis termicamente são classificadas de acordo com os processos aplicados ao material e representadas pelo seguinte sistema:



- “F”- Como fabricado, sem nenhum tratamento, controle ou limite de propriedades mecânicas;
- “O”- Recozido, aplicado aos produtos acabados que apresentam o menor valor de resistência mecânica;
- “H” - Encruado, referente aos produtos de ligas não tratáveis aumentados de resistência por trabalhos a frio pelos quais resultam os graus de dureza.
- “H1” - Aplicado aos produtos que sofrem deformação a frio a fim de obter-se a resistência ideal. A referência acompanha um segundo dígito que indica o grau de dureza;
- “H12” - Representa o encruamento do material com dureza de  $\frac{1}{4}$  duro;
- “H14” - Representa o encruamento do material com dureza de  $\frac{1}{2}$ duro;
- “H16” - Representa o encruamento do material com dureza de  $\frac{3}{4}$ duro;
- “H18” - Representa o encruamento do material duro;

**Outras representações das têmperas estão demonstradas no sistema de designação da norma ABNT NBR6835 *apud* Billiton (1996).**

Para produtos submetidos ao processo de laminação a frio onde as chapas de alumínio apresentam o estado de encruamento, reduzindo a ductilidade ideal às operações de conformação mecânica como repuxo e embutimento, o tratamento apropriado é o de recozimento cujo emprego é justificado pela necessidade de extrema maleabilidade e estabilidade física imprescindíveis a essas operações.

O recozimento da liga 1100 segundo ASM (1995), compreende o aquecimento do alumínio à temperatura entre 345°C e 408°C com permanência de 2 a 4 horas e, resfriamento lento ao ambiente não ultrapassando a velocidade de 28°C por hora para evitar o surgimento de novas tensões, obtendo assim máxima ductilidade no material.

As estufas com circulação de ar forçada, além de evitarem a liquação do alumínio, apresentam melhores resultados devido a uniformidade térmica do ambiente e da carga.

O controle da temperatura de tratamento requer acompanhamento específico e uso de dispositivos de precisão como conjuntos de pirômetros e sensores térmicos posicionados nas medianas da estufa com aproximação de no máximo 100 milímetros da zona de tratamento, conforme especificação MIL-H-6088C segundo ASM (1995, p.875).

Após submeter-se os laminados ao recozimento, o material pode apresentar alguns defeitos originados normalmente do processo de fundição, entre eles: as porosidades ou bolhas de hidrogênio, inclusões e escamas de óxido de alumínio.

### **3.3 - Características do Alumínio**

Uma das principais características do metal é a imediata oxidação na presença de umidade. Por isso, em toda superfície exposta à atmosfera, principalmente na fase líquida, é formada uma película de óxido de alumínio indesejável ao produto final. Mesmo com apurado controle de processo, uma grande parte desse óxido adentra no material líquido somente sendo apresentada nos trabalhos de acabamento das peças, na forma de partículas grosseiras, escamas ou ainda filmes nos contornos dos grãos.

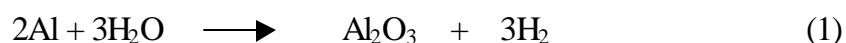
Segundo Mascré (1973), no alumínio líquido a camada de alumina tem aproximadamente 10 microns de espessura, servindo como proteção contra a atmosfera agressiva do forno. Quando rompida, nova camada se formará representando acréscimo quantitativo de óxido e consequentemente da perda do metal.

Outra característica presente, segundo Maniglia (1988), é a solubilização do hidrogênio, o único gás mensurável no processamento do alumínio, presente nos produtos da combustão com os quais o metal entra em contato nos fornos.

A composição do gás no alumínio é tanto variável dependendo de sua origem, mas normalmente circula entre 70 e 90% de hidrogênio, sendo o restante formado de nitrogênio e oxigênio do ar de combustão, vapor d'água, monóxido e dióxido de carbono e hidrocarbonetos queimados ou não, anidro sulfuroso e todos os outros contaminantes incluídos principalmente nos óleos.

Muitos desses gases se dissolvem no alumínio em proporção limitada mas o pior é o vapor d'água que reage com o metal líquido formando o óxido de alumínio e o hidrogênio nascente se dissolve rapidamente no banho. A velocidade da reação independe da massa do metal, estando ligado diretamente à área superficial exposta à atmosfera úmida ou à própria água.

Mostra-se essa reação na seguinte forma:



Os defeitos causados pelo hidrogênio são diversos e facilmente detectados nos produtos laminados. Cita-se os mais comuns:

- porosidade;
- bolhas precipitadas durante o recozimento;
- baixa resistência à fratura e à fadiga;
- aspecto superficial rugoso chamado de “casca de laranja”;
- rompimento da superfície, quando submetida a operações de conformação.

Autores como Ransley(1948), Grant(1950) e Eichenauer(1961) já demonstravam em seus estudos, equações que representam o efeito da temperatura sobre a solubilidade do hidrogênio como apresentado na Tabela 3.1:

TEMPERATURA		SOLUBILIDADE ( cm <sup>3</sup> / 100 gramas Al )		
( ° C )	( ° F )	Ransley	Grant	Eichenbauer
660	1220	0,69	0,83	0,46
700	1290	0,91	1,07	0,63
800	1470	1,68	1,86	1,23
850	1560	2,18	2,40	1,66

Tabela 3.1 – Solubilidade do Hidrogênio - adaptado de Hatch (1984).

Tomando-se como base a temperatura de 800°C e a solubilidade de 1,68 cm<sup>3</sup> por 100 gramas de alumínio encontrada por Ransley e Neufeld (1948), pode-se afirmar que para cada 16,8

litros de hidrogênio contidos no ar, 1,0 tonelada de alumínio poderá apresentar os defeitos especificados.

A publicação técnica Senai (1994,p.41-42) apresenta que “ o teor de H<sub>2</sub>O do ar varia segundo a estação do ano e a temperatura média” e que a umidade influencia a gasagem por aumento suplementar de hidrogênio. Logo, pode-se concluir que nas regiões quentes e com elevada taxa de umidade relativa no ar, como o estado do Ceará que apresenta em média 60%, o problema é mais grave, pois a alimentação de ar ambiente para a combustão dos fornos arrasta grande teor de umidade, conseqüentemente aumentando o volume de hidrogênio no metal.

Diante dessas características particulares do alumínio e suas ligas em seu estado líquido, vários tratamentos podem ser aplicados para corrigir problemas apresentados durante a transformação do alumínio.

### **3.4 - Tratamentos Específicos**

Na fusão do alumínio são aplicados tratamentos específicos a cada processo industrial. Como apresentado pela Foseco (1996) em seu boletim técnico, durante a fusão das ligas primárias são efetuadas três operações básicas: escorificação, refinamento de grãos e desgaseificação.

#### **3.4.1 - Escorificação**

O tratamento consiste na adição de um produto chamado de fluxo escorificante conhecido popularmente no meio pelos termos fundente ou sal. Conforme Gwinner (1996), o procedimento tem duas finalidades: proteger o material de excessiva oxidação durante o processo de fusão e, coletar escória e compostos não metálicos como partículas refratárias do forno. Comenta também em seu artigo que teoricamente, o melhor fluxo é composto com 60% cloreto de sódio e 40% cloreto de potássio atingindo sua performance completa à 640°C.

Além das finalidades acima, a Foseco (1996) em seu boletim técnico demonstra que os fluxos têm a função de absorver óxidos e materiais não metálicos, limpando o metal e formando uma escória com baixos teores de alumínio. A camada superficial resultante evita a absorção de gases que prejudicam a qualidade do produto e seu forte efeito escorificante reduz o arraste de metal durante a remoção da escória também conhecida como borra.

O método de aplicação é específico para cada tipo de forno. Em fornos revérberos, a quantidade de fluxo necessária dependerá da carga de alumínio e da área superficial do metal exposta à atmosfera. Porém, pode-se tomar como base 1,2 a 2,5kg por metro quadrado da superfície do banho e ajustar a dosagem conforme o resultado.

Deve-se iniciar o tratamento quando o metal estiver totalmente líquido, com o forno desligado para facilitar o acesso. Então, espalhar o fluxo por toda a superfície deixando-o em repouso por alguns minutos até agitá-lo com uma ferramenta chamada de escumadeira. Ligar o forno por 10 minutos para ativar o fluxo que deverá separar-se do metal. Remover a escória disposta por toda a superfície do banho e dar início aos outros tratamentos. O melhor resultado, segundo o boletim citado, é atingido em temperaturas entre 700 e 780°C.

#### 3.4.2 - Refinamento de grãos

A indústria do alumínio vem enfrentando grandes desafios devido à variedade de novos materiais competitivos em franca demanda no mercado. A estratégia, portanto é a busca pela qualidade a baixo custo agregada à potencialidade do metal.

Essa opção demonstra a necessidade de: minimização das perdas de processo, preservação dos recursos naturais, e a manufatura de produtos isentos de defeitos cuja vantagem de ser um material reciclável e reprocessável, muitas vezes leva ao relaxamento do controle e consequentemente ao aumento dos custos financeiro e ambiental.

Segundo Pearson & Kearns (1997), o tratamento para refino dos grãos apresenta resultado satisfatório para a melhoria do processo de fabricação de produtos em alumínio cumprindo a meta para redução de custo. A contribuição é obtida pela:

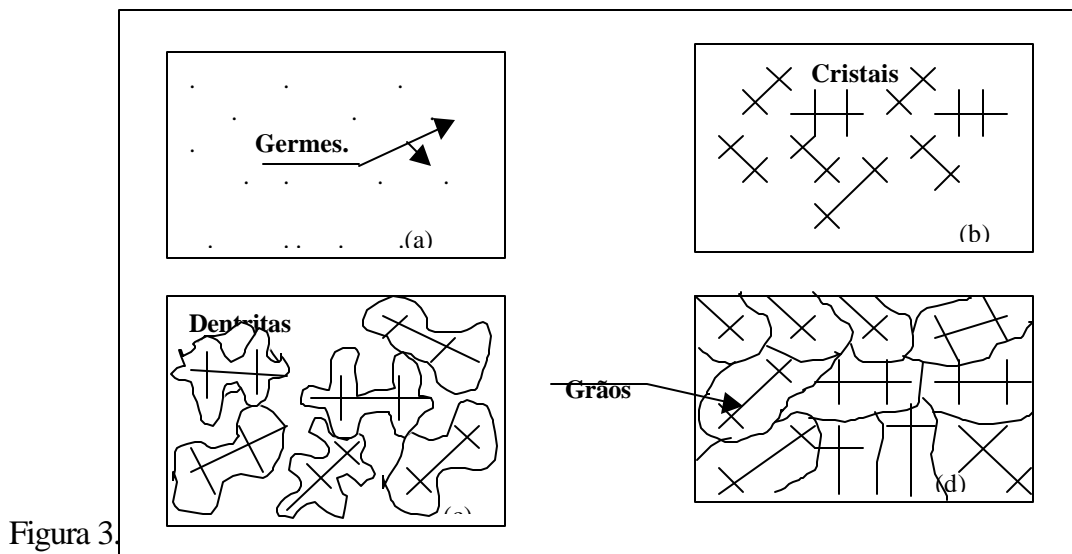
- melhoria das propriedades de fundição e redução das trincas a quente;
- melhoria das características mecânicas estáticas e dinâmicas, estando evidenciados aumento no limite de fadiga e redução da fragilidade;
- fácil usinagem;
- redução dos defeitos superficiais como a “casca de laranja” apresentados comumente em peças estampadas e repuxadas;

- minimização do retrabalho e custos de reprocessamento.

Normalmente durante a solidificação das ligas de alumínio são formados grandes cristais colunares conhecidos, segundo Fuoco (1995), como dentritas alongadas. Essas formações podem influenciar adversamente nos processos de deformação, prejudicando seriamente a qualidade das peças laminadas, estampadas ou extrudadas. A incidência de grãos grosseiros em regiões localizadas promove redução da resistência à tração entre outras propriedades mecânicas.

O método de refinamento demonstrado por vários autores como Foseco (s/data), Pearson & Kearns (1997) e Grand (1950), consiste na adição de compostos de elementos refinadores tais como: titânio, boro, zircônio ou nióbio e cloro no banho, pouco antes do vazamento para os moldes. Pelo grande intervalo de data entre as pesquisas como também por dados coletados no campo, pode-se considerar que durante praticamente quarenta anos se aplica o mesmo procedimento. Todos apresentam a composição de uma liga de titânio, boro e alumínio comercialmente conhecida por TiBAI como a mais eficiente para o tratamento. Porém, são incertos os mecanismos de ação desses elementos sobre o alumínio. É suposto a formação de germes de boreto de titânio ou compostos intermetálicos dispersos na massa de metal líquido.

Esses germes ou núcleos levam a formação de inúmeros grãos finos e equiaxiais durante a solidificação. A Figura 3.4 demonstra as fases cristalográficas desse processo.



A posição (a) representa o metal líquido contendo germes do refinador a base de Ti e Bo. Na (b) ocorre o início da cristalização, (c) demonstra o crescimento dos cristais dentrícos distanciados e (d) apresenta a estrutura do metal sólido refinado, com inúmeros grãos de pequenas dimensões.

Para o refino das ligas primárias 1100 e 1050, os produtos refinadores estão disponíveis no mercado em diversos tipos e formas como: em pó ou pastilhas de titânio, titânio e cloro, titânio e boro; em tarugos e varetas contendo de 3 ou 5% de titânio, 1% de boro, e alumínio, encontrados pelo termo TiBAI 3/1 e TiBAI 5/1 respectivamente. A vantagem desses últimos é representativa pela simplicidade na aplicação e a não liberação de fumos agressivos ao ambiente como se pôde observar na prática.

A aplicação dos produtos refinadores segue procedimentos distintos de acordo com seu fornecimento. Quando em forma de pastilhas, utiliza-se um sino de imersão conforme Foseco (1996) exemplificando seu produto “*nucleant* “. Já na forma de varetas, deposita-se o produto diretamente sobre o metal líquido. Segundo Fuoco (1995, p.16) “o máximo efeito refinador é alcançado após 5 a 10 minutos da adição no banho”, o que demonstra a importância do *lead time* dos tratamentos ser em semelhante espaço de tempo.

Esses procedimentos, embora simples, exigem rigorosos controles de tempo e temperatura, variáveis estas relacionadas diretamente ao tamanho final do grão. A Figura 3.5 mostra as mudanças na dimensão do grão em relação ao tempo de contato do refinador TiBAI 5/1 submetido às temperaturas constantes de 720 e 800°C.

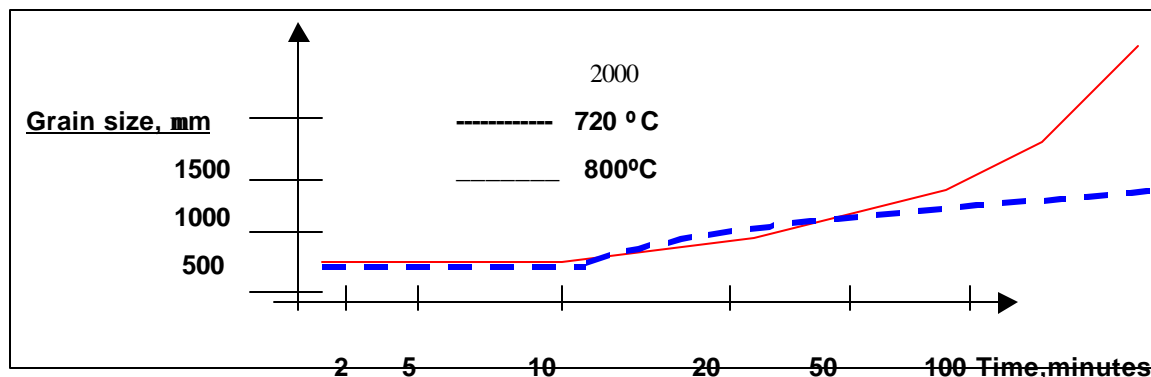


Figura 3.5 - Tamanho do grão x tempo - adaptado de Pearson & Kearns(1997)

Um outro fator que influencia diretamente no tratamento é a velocidade de resfriamento do

metal líquido ,pois conforme SENAI (1994, p.25)“, o grão do alumínio e de suas ligas é tanto mais fino quanto maior for a velocidade de solidificação”. Para fundição em coquilha, o resfriamento é controlado por sua temperatura no instante do vazamento do metal. Se superaquecida, ocorrerá crescimento dos grãos e, quando resfriada poderá promover trincas e rechupes nas extremidades das placas fundidas.

Normalmente é recomendado pelos fabricantes de aditivos para fundição, que o refinamento anteceda ao tratamento de desgaseificação, porém quando há processamento em grandes quantidades de alumínio primário e o tempo entre a nucleação e o vazamento final é longo, deve-se então primeiramente retirar os gases e em seguida aplicar o produto refinador.

### 3.4.3 - Desgaseificação ou fluxação

As microbolhas de hidrogênio e inclusões de óxidos afetam negativamente a qualidade dos produtos fundidos, principalmente as propriedades de fadiga e ductilidade, sendo portanto, necessária a aplicação de um tratamento específico para eliminar o agente causador dessas contaminações.

Embora, a desgaseificação apresente um efeito indireto de limpeza dos óxidos e, segundo Anyalebechi (1991) esse método prevalece por agregar as partículas de óxido arrastando-as para a superfície, seu principal objetivo é o de reduzir o teor residual de hidrogênio cujo resultado é geralmente obtido por sua difusão nas bolhas de um gás aplicado no banho.

Como uma bolha de gás fluxado move-se para cima do metal fundido, o hidrogênio difunde-se do banho saturado para a precipitação de gás livre. Assim cada bolha, no momento em que alcança a superfície já terá removido algum hidrogênio do metal fundido, o que é desprendido como moléculas de hidrogênio para a atmosfera acima do banho, onde ele logo se dispersa.

Como descreve Silva (1998), “o processo de desgaseificação consiste em promover um fluxo ascendente de gás (injetado ou proveniente de reação química), em contato com o metal líquido, removendo o H<sub>2</sub> solúvel no arraste mecânico, e se o gás utilizado for reativo, por reações químicas”. O autor também apresenta os seguintes métodos para o tratamento:



- com pastilhas de sais;
- com gás injetado por lança de grafite;
- com gás injetado por plug poroso;
- com gás injetado através de lança e eixo rotativo.

Nas fundições, onde a quantidade de metal a ser tratado é relativamente pequena, o uso de sais é mais freqüente; nas grandes refusões, onde até 200 toneladas/hora podem ser vazadas sob a forma de placas e/ou tarugos, até recentemente o gás cloro era o mais eficiente e econômico fluxo desgaseificante.

Os recentes cuidados com a poluição e as conseqüentes restrições advindas, aliadas aos problemas de segurança industrial, tornaram o uso do cloro difícil, especialmente nas fábricas em áreas densamente habitadas.

Quanto aos efeitos do uso de cloro no tratamento, na forma de pastilhas ou composto no hexacloroetano, Redhair (1986) comenta:

- os sais de cloreto resultantes atacam o revestimento refratário do forno, equipamentos e todas as partes metálicas a sua volta, reduzindo suas vidas técnicas;
- problemas sérios de poluição do ar existem durante a fluxação devido ao cloreto de alumínio na forma de fumaça branca que é lançado no ambiente;
- o cloro reage com o magnésio contido em algumas ligas e promove sua perda pela liberação de cloreto de magnésio.

Novos procedimentos para reduzir a agressividade dos desgaseificantes utilizam misturas de gás inerte com algum gás ativo como o cloro, mesmo assim, ainda ocorre pesada emissão de vapores tóxicos e ataque corrosivo nas partes metálicas dos equipamentos e da própria estrutura de coberta dos galpões.

Contudo, tem sido constatado que misturas de gases que contêm 5 a 15% de cloro apresentam uma eficiência bastante aceitável, comparada com a do cloro puro.

Entre estas misturas a mais conhecida é a denominada “TRIGAS” desenvolvida pela Reynolds Metals Co., na qual contém principalmente nitrogênio, com pequenas quantidades de monóxido de carbono e cloro. Outras misturas contendo hélio, argônio ou nitrogênio com uns 5 a 15% de cloro são também comumente usadas. A eficiência da fluxação com esses outros gases depende muito de um sistema de aplicação dos mesmos no interior do metal fundido que garanta uma elevada dispersão. A maior eficiência da mistura desses gases no banho compensa a menor presença do cloro.

Outros sais que desenvolvem gases também são usados na fluxação. Cloretos de zinco ou alumínio, fluoreto de alumínio, hexacloroetano são os ingredientes ativos mais comuns destes fluxos.

Freqüentemente, são comercializados sob a forma de pastilhas as quais são introduzidas no fundo do banho fundido e aí mantidas até completa dissolução. Como os sais se decompõem em gases, desprendem-se bolhas através do metal fundido e atingem a superfície carregando com elas os óxidos e hidrogênio do banho.

A poluição é ainda um problema, uma vez que esses gases tóxicos são liberados. Geralmente, os fluxos de sais são utilizados em fundições onde a quantidade de metal fundido e de fluxo usado é limitada. Além disso, com as pastilhas de sais, um controle mais efetivo pode ser mantido sobre os gases desenvolvidos. Entretanto, o custo, dos fluxos à base de sais, é muitas vezes superior aquele do gás cloro ou o das misturas cloro-gás inerte.

Como alerta Foseco (1996), há também outro sério problema com os fluxos de sais: trata-se do fato de esses sais serem na maioria das vezes higroscópicos e, portanto, se não forem estocados em lugares secos, eles tendem a absorver umidade e, nesse caso, a operação de fluxação introduz no metal fundido mais óxido e gás do que remove.

Outro tipo de fluxo à base de sais observado por Senai (1994), o qual reduz drasticamente a poluição é o tipo de sal solvente. Criolita ou sais similares são os ingredientes ativos geralmente misturados com outros sais para baixar o ponto de fusão da mistura. Quando o sal é agitado no

banho, funde-se e, dissolve o óxido presente no metal fundido. Eventualmente o sal, com o óxido dissolvido, sobe à superfície, onde é removido por ferramenta chamada de escumadeira.

Desde que uma grande parte do gás está presa ao óxido, sua remoção também retira hidrogênio suficiente para permitir a produção de material fundido isento de porosidades.

As misturas mais comuns desse tipo de fluxo contêm criolita, cloreto de sódio, e têm um ponto de fusão da ordem de 640 – 650° C.

Existem ainda outros tipos de misturas contendo cloreto de magnésio, fluoreto de alumínio, etc. As principais desvantagens destes fluxos são: uma quantidade relativamente grande de sal deve ser usada, variando de 0,1% do metal quando é fundido apenas lingote, até cerca de 3 a 4% quando sucata leve constitui a carga. A outra desvantagem é a de que se o fluxo não for muito bem misturado no banho, sua ação de limpeza torna-se incompleta.

A evidência das questões ambientais tem estimulado a utilização de gases menos poluentes, e com processos de aplicação tecnologicamente mais modernos, como no caso do nitrogênio e argônio, embora nenhum deles seja tão eficiente quanto o cloro.

Demonstrado por Fuoco (1995), a fluxação desses gases pode adotar o borbulhamento com nitrogênio ou argônio. O processo consiste da passagem do gás inerte puro e seco através do metal líquido. A introdução do gás pode ser feita por lança, como na Figura 3.6, por plug ou rotor de grafite poroso.

Os controles de temperatura do metal, pressão e vazão do gás, e o tempo de aplicação, são de extrema importância, devendo-se aferir os resultados com frequência sob pena de rejeição de toda a carga de alumínio do forno.

Segundo Senai (1994), a vazão ideal do gás varia entre 4 e 7 litros por minuto, permanecendo de 3 a 12 minutos em contato com o metal líquido à temperatura ideal de 720 °C.

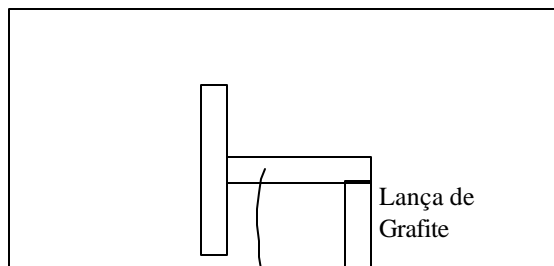


Figura 3.6 – Desgaseificação com gás inerte e lança - Adaptado de Senai (1994).

Silva (1998) apresenta o mesmo método com: temperatura de 720°C, a vazão de 3 e 10 litros/min e o tempo entre 5 e 25 minutos, a uma pressão de 5 kgf / cm<sup>2</sup>.

Suas principais vantagens são: facilidade e baixo custo de instalação; simplicidade na operação. Como a lança é estacionária, não é aproveitado o deslocamento tangencial das bolhas para melhor distribuição do gás fluxado, o que o classifica como de resultado razoável.

Embora o método da injeção de gás por lança de grafite não seja o mais eficiente conforme os autores referenciados anteriormente, ele é o mais acessível por representar 25% do custo do sistema de plug poroso e 3,3% da instalação do eixo rotativo segundo orçamento feito pela Alubras S/A.

Independente do tipo de gás, as variáveis de controle interferem diretamente no rendimento da desgaseificação. A Figura 3.7 apresenta alguns resultados mostrados por Fuoco (1995):

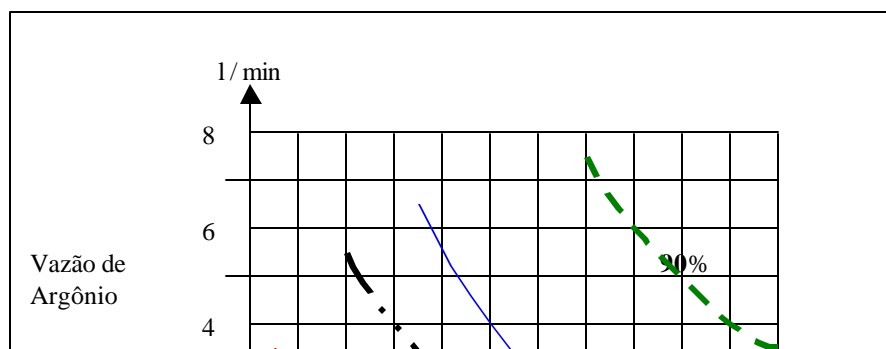


Figura 3.7 – Rendimento da desgaseificação - adaptado de Fuoco(1995).

Pode-se notar que, no caso de uso do argônio a uma vazão de 4 litros por minuto aplicada durante 10 minutos, são extraídos 90% de hidrogênio.

Como bem demonstrado por Maniglia (1988), a desgaseificação é desenvolvida pelo decréscimo do diâmetro das bolhas de gás fluxado e pelo tempo de permanência no banho pois, quanto menor o diâmetro dessas bolhas maior será a superfície de contato com a fusão que promoverá a difusão entre os gases. A velocidade de ascensão à superfície diretamente relacionada ao tempo de permanência na fusão é proporcional, numa temperatura constante em torno de 720°C, ao quadrado do raio da bolha; logo, pode-se afirmar que as bolhas menores passam mais tempo imersas no metal fundido.

Em resumo, o estudo demonstra uma crescente preocupação com a boa desgaseificação do alumínio, aliada a uma completa remoção de óxidos e, tanto quanto possível sem poluição. Isto tem levado ao aprofundamento das pesquisas, procurando-se alcançar esses objetivos numa mesma solução.

Processos de desgaseificação com gases inertes através de difusores têm demonstrado maior eficiência segundo informações de usuários. Algumas grandes companhias passaram a aplicar filtragens especiais, como no caso da Alcoa e da Consolidated Aluminum citados em Redhair(1986), atingindo a somatória desses efeitos, no processo FILD (Fumeless In-Line Degassing) da British Aluminium, desgaseificando e eliminando inclusões num sistema contínuo e sem poluição, porém de custo relativamente elevado.

Vários autores como Ransley e Neufeld (1948), Anyalebechi(1991) e Senai (1994), apresentam a aplicação de gases inertes como solução eficaz e não agressiva ao meio ambiente.

### 3.5 - Tipos de Fornos e Combustíveis

Para os processos de transformação do alumínio são empregados fornos de diversos tipos, conforme as especificações dos produtos e materiais de fundição. Alguns fatores devem ser considerados para sua escolha e, segundo Gomes e Filho (1982, p.78) estão diretamente relacionados ao processo e conseqüentemente aos seus resultados. Cita-se os seguintes:

- **Flexibilidade** - Facilidade de limpeza quando ocorrer fusão de ligas distintas no mesmo forno;
- **Perda de Fusão** - O desenho do forno deve permitir aquecimento uniforme apresentando perdas mínimas durante a fusão e a manutenção do banho líquido, com livre acesso das ferramentas necessárias aos tratamentos do alumínio;
- **Eficiência térmica** - Equipado com dispositivos de controle automático de potência, liberando somente o calor necessário ao estado da carga e apresentar baixo consumo de combustível;
- **Manutenção** - Facilidade na reposição do revestimento refratário e manutenção dos dispositivos de aquecimento para evitar paradas longas do forno;
- **Condições de Operação** - Simplicidade nos comandos para evitar especialização da mão de obra, a qual pode representar aumento do custo direto;
- **Custo** - O investimento inicial é, por muitas vezes, o fator decisório na aquisição dos fornos de fundição, porém, pode elevar o custo operacional pela falta de especificação adequada.

#### 3.5.1 - Tipos de fornos para fusão do alumínio

Os fornos utilizados pelas empresas que operam com a fusão do alumínio apresentam modelos cujos custo e aplicação são particularidades de cada processo e de sua capacidade fabril. Os tipos mais comuns citados por Gomes e Filho (1982) são:

- **Fornos revérberos** - Caracterizados pela emissão de chama direta, o aquecimento do banho é produzido pela radiação da chama que não deve tocar no metal e do revestimento refratário, apresentam fusão rápida, boa eficiência térmica e baixo consumo de combustível. Exigem freqüente controle da mistura para evitar chama oxidante e a desvantagem é o contato do banho com os tijolos refratários compostos com sílica. Esses fornos podem operar com diversos combustíveis líquidos, gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural.
- **Fornos a cadinho** - São formados por uma câmara de aquecimento circular em torno de um cadinho de grafite aglomerado ou carbetto de silício. Têm sistemas de aquecimento a resistências elétricas, combustíveis líquidos ou gasosos. Embora seu tempo de fusão seja alto pela necessidade de pré-aquecimento, apresentam excelentes condições de operação e qualidade final do produto. Esses tipos apresentam capacidade de produção de 20 até 500kg, ideais a pequenas e médias fundições.
- **Fornos de indução** - São constituídos por espiras primárias refrigeradas a água, que envolvem um cadinho onde a carga de alumínio opera como corrente secundária sendo aquecida pelo campo magnético resultante. O efeito da indução agita o banho tornando-o homogêneo. Têm boa eficiência térmica e consumo médio de 0,5 kwh / kg de alumínio. Necessitam de elevado investimento inicial devido a complexidade do sistema elétrico variável conforme sua capacidade de produção, com números que vão de 50 a 5000kg por fornada.
- **Fornos rotativos** - Com o mesmo princípio dos revérberos, são diferenciados por girarem em torno do eixo horizontal, semelhante a uma betoneira. Nas concepções mais modernas usam aquecimento a oxi-gás ou plasma. Atualmente têm larga aplicação na recuperação da borra de alumínio.

### 3.5.2 - Estatística dos fornos de fundição no Brasil

Como descreve Gorni (1999), as máquinas de fundição apresentam concepções e combustíveis diversos conforme o material a ser liquefeito. Em sua pesquisa, 199 empresas em 1995 e 307 no ano de 1999, responderam ao questionário sobre tipo de fundição e fornos em operação no Brasil.

Os números do Quadro 3.1 referem-se aos equipamentos com idade entre 0 e 5 anos, e apontam os fornos a gás como os de maior crescimento nas fundições de metais não ferrosos.

#### Quadro 3.1- Evolução dos combustíveis nas Fundições de não ferrosos no Brasil

FORNO %CRESCIMENTO	1995	1999	
ELÉTRICO POR INDUÇÃO 40,0		20	12
Fonte: Dados com base na pesquisa de Gorni (1999)			-

Dentre esses metais, o pesquisador descreve o alumínio como o de maior frequência, chegando a 84% do total. Essa representatividade é evidenciada pelo aumento da participação do alumínio nos mais distintos ramos do mercado que vão desde embalagens descartáveis até construção aeronáutica.

Além do processamento de alumínio primário produzido pelas grandes usinas, há uma corrida pelas sucatas de alumínio cujo preço por kg chega a ultrapassar a mesma unidade de material puro quando os estoques circulantes ficam escassos.

Por questões financeiras e pela legislação ambiental, essas empresas vêm mantendo contratos de transformação das sobras de processo dos próprios clientes promovendo ganhos representativos aos dois lados: a usina reduz o pesado processamento da bauxita e o cliente encerra o processo de fusão para receber sua matéria-prima já nos padrões desejados, terceirizando o reprocessamento.

Em outra pesquisa elaborada por FS (2000), onde em 167 fundições que responderam seu questionário, 163 trabalham com alumínio e utilizam os tipos de fornos demonstrados no Quadro 3.2.

**Quadro 3.2 – Tipos de fornos e combustíveis para alumínio**

TIPO DE FORNO	COMBUSTÍVEL	
QUANTIDADE		
INDUÇÃO 17	ENERGIA ELÉTRICA	
A RESISTÊNCIA 59	ENERGIA ELÉTRICA	

Fonte: adaptado de FS (2000)

A ABAL (1999, p.5), demonstra que o consumo *per capita* de alumínio primário no Brasil passou de 3,2 em 1995 para 4,4 kg/hab/ano no ano de 1998 cujo o total representa 704,1mil



toneladas transformadas, ou seja, submetidas a algum dos processos de fusão antes de passar pelas operações de laminação, extrusão ou injeção, nas empresas transformadoras.

Duas informações importantes podem ser geradas com base nas pesquisas: a consciência preservacionista está presente em um dos ramos considerados como de alta agressividade ao meio ambiente, nas fundições; e a outra, é o crescimento da atividade industrial em fundição do alumínio no país.

**Durante o desenvolvimento desse trabalho foram identificadas, em pesquisa de arquivo na Federação da Indústria do Estado do Ceará - FIEC, 15 fundições localizadas na região metropolitana de Fortaleza incluindo os distritos industriais de Maracanaú, Caucaia e Horizonte, e levantados seus tipos de fornos, combustíveis e matérias-primas.**

**Os números apurados nessa pesquisa demonstram que, das 10 empresas cadastradas na Federação da Indústria do Ceará – FIEC, 06 produzem produtos fundidos e laminados, destas, apenas 01 empresa opera com alumínio primário e retornos internos de processo, as outras 05 adicionam sucatas de cabos elétricos e outras com liga semelhante. As quatro restantes operam com fusão e injeção utilizando materiais de mesma classificação.**

**Além dessas transformadoras oficializadas, existem 04 fundições informais atuando basicamente na reciclagem de sucatas de latinhas, painéis, perfis, cabos elétricos, peças automotivas e borra, fabricando diversos produtos como: lingote, carcaça de eletrodomésticos, autopeças, acessórios para painéis e utilidades em geral.**

**O quantitativo dos fornos e seus respectivos combustíveis são mostrados no Quadro 3.3.**

**Quadro 3.3 – Forno e combustíveis na cidade de Fortaleza**

<b>TIPO DE FORNO</b>	<b>COMBUSTÍVEL</b>	
<b>QUANTIDADE</b>		
REVÉRBERO	GLP	02
	ÓLEO QUEIMADO	01
	ÓLEO BPF	01
Fo A CADINHO	ÓLEO QUEIMADO	07

**Com os problemas financeiros devido à variação do dólar em janeiro de 1999 e consequentemente o aumento do preço do alumínio nas usinas e no mercado de sucatas, além da pouca tecnologia acessível, algumas empresas passaram a desenvolver suas próprias soluções alternativas adequadas aos seus recursos monetários e técnicos, adaptando seus fornos para a combustão do óleo**

lubrificante de motores, removido dos veículos e denominado na região como óleo queimado. Essa alternativa mantém em funcionamento 08 das 15 empresas identificadas.

Embora a solução encontrada represente a manutenção dessas empresas, os aspectos ambientais têm que ser considerados no momento do projeto, mesmo que desenvolvido por pessoal prático não especializado. Com os índices de desemprego atuais, vários ex-funcionários de fundições passaram a produzir e comercializar pequenos utensílios em alumínio processados em fornos caseiros com combustíveis empregados de acordo com a disponibilidade. O efeito poluente é drástico pois, a grande maioria instala-se nos próprios locais de moradia, em zonas residenciais de baixa renda e grande densidade populacional.

### 3.6 - Controle de processo

Os processos de transformação do alumínio, embora demonstrem agressividade pelo fogo, calor e ruídos excessivos, são sensíveis às mínimas variações de procedimento e até mesmo dos fatores ambientais inerentes da região onde se localiza a atividade. Essas mudanças interferem diretamente na qualidade do produto acabado a que se destina. Portanto, o trabalho com alumínio necessita de controles rígidos em todos os pontos, que vão desde o recebimento da matéria-prima até a estocagem do produto final.

Com base nos conceitos revistos, pode-se determinar as principais variáveis de controle, seus fatores e aspectos resultantes. Esses dados são apresentados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Controles no processamento do alumínio

VARIÁVEL	FATOR	ASPECTO
MATERIAL	PUREZA	CONTAMINAÇÃO E ALTERAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS
CALOR	TEMPERATURA ACIMA DE 720°	OXIDAÇÃO DO BANHO E BAIXO RENDIMENTO DOS TRATAMENTOS DE
CLIMA	UMIDADE RELATIVA DO AR AMBIENTE	OXIDAÇÃO E SOLUBILIDADE DO HIDROGÊNIO NO BANHO DE FUNDIÇÃO E POROSIDADES
		TRINCAS À QUENTE E RECHUPES NAS PEÇAS. ADERENCIA DO MATERIAL DAS COQUILHAS

Fonte: elaborado pelo autor

Dos aspectos demonstrados, o mais crítico segundo Fuoco (1995) é a presença de teores de hidrogênio acima de 0,08ml / 100g de alumínio, cujo controle pode ser efetuado pelos seguintes métodos:

- controle direto do teor de H<sub>2</sub> no banho líquido através do equipamento Telegás;
- avaliação indireta desse teor, pela comparação de densidades de amostras retiradas do banho e solidificadas a vácuo;
- avaliação pelo método da primeira bolha.

O uso do Telegás é baseado na recirculação de nitrogênio de alta pureza através do metal líquido, removendo hidrogênio até sua saturação, em quantidade cujo teor deve estar em equilíbrio com o mesmo solubilizado no alumínio. O método é o mais preciso dentre as técnicas comumente aplicadas.

Já o método que utiliza a comparação das densidades, submete os corpos de prova a uma pressão de vácuo na ordem dos 80 mmHg durante sua solidificação. Segundo Mondolfo (1976) a densidade experimental do alumínio com 99,996% de pureza pode variar entre 2,6966 e 2,6988 kg / dm<sup>3</sup>, e, 2,7 kg / dm<sup>3</sup> para a especificação 99,00%.

A avaliação pelo método da primeira bolha é bem divulgada no meio industrial. Seu ensaio simples e rápido consiste na determinação do instante inicial que surge a primeira bolha de hidrogênio em um corpo de prova em solidificação dentro de uma câmara de vácuo controlado. Segundo Fuoco (1995), “através da correlação entre a temperatura do metal e o nível de vácuo é possível contabilizar o nível de hidrogênio dissolvido com razoável precisão”.

Além desses fatores, Maniglia (1988) alerta para a velocidade de transferência do metal líquido cuja turbulência gera precipitações seguidas de absorção do hidrogênio e oxidação instantânea da camada superficial.

O controle sobre a composição química, seja do metal primário adquirido das usinas como das aparas de processo, ou ainda, das sucatas com origem desconhecida, é de imprescindível execução antes do carregamento nos fornos de fusão sob pena de contaminação e perda total

desse material que, uma vez liquefeito e homogeneizado não existem recursos para separação dos elementos indesejáveis.

A especificação do alumínio para fabricação de painéis de cozinha apresenta a composição conforme o Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Composição química do alumínio não-ligado

LIGA \ % mínimo	Si	Fé	Cu	Mn	Zn	Ti	B	Outros	Al

Fonte: adaptado de Abal (1994)

A análise química deve ser efetuada segundo a ABAL (1994), aplicando-se a norma brasileira NBR 7576. Para controle durante o vazamento, de cada corrida deve ser coletada uma amostra do metal. Se as provas forem retiradas de produtos acabados, a amostragem é feita a cada lote de 2000kg ou fração. As amostras devem ter massa mínima de 75 gramas, sendo submetidas à limpeza total da superfície excluindo partículas metálicas das ferramentas de corte através de um ímã. Não se deve utilizar nenhum lubrificante para auxiliar a retirada da amostra.

Diversos métodos e equipamentos de análise podem ser aplicados, os ensaios mais comuns são por absorção atômica e por emissão óptica, cujos equipamentos estão bem mais acessíveis quanto à disponibilidade e ao preço de aquisição. Se o produtor da matéria prima informa a composição química do material, não há necessidade de teste de conformidade para o produto final.

O controle de temperatura nas operações de laminação a quente e a frio é necessário para evitar o surgimento de efeitos como: *orange peel* ou casca de laranja e *looper lines*. Estas deformações descritas por Hatch (1984), são muito comuns em produtos laminados e posteriormente embutidos como as painéis para cozinhar. Análises granulométricas em macro e micrografia podem ser efetuadas eventualmente para aferir os resultados.

O processo de transformação do alumínio primário, suas particularidades e controles são demonstrados com base no fluxo ideal apresentado por vários estudos de pesquisadores referenciados nesse capítulo, porém algumas distorções e adaptações poderão surgir nas aplicações dessas teorias no campo.

### **3.7 – Aspectos e Impactos Ambientais na Transformação de Metais Não-Ferrosos**

Conforme o Banco do Nordeste do Brasil - BNB (1999), o setor de metais não ferrosos compreende as seguintes atividades:

- fundição de matérias-primas para obtenção de metais;
- elaboração de materiais de reciclagem em fundições secundárias;
- transformação de metais em produtos comerciais.

*Dessas atividades industriais dos metais não-ferrosos, demonstra-se nesse trabalho a abordagem da transformação do alumínio em produtos comerciais procurando identificar os aspectos e impactos ambientais originados de seus processos.*

*Dentre as técnicas de processamento de metais não ferrosos aplicadas atualmente estão as técnicas pirometalúrgicas e os processos de desagregação hidrometalúrgicos.*

Na aplicação das técnicas pirometalúrgicas, as medidas de conservação da pureza do ar são as mais importantes; além disso, são produzidas escórias que, dependendo da sua composição, podem provocar a contaminação do solo e das águas.

Já na aplicação dos processos de desagregação hidrometalúrgicos, as medidas de proteção da água e do solo ganham papel mais importante, uma vez que ocorre a geração de efluentes hídricos em maior proporção.

No processamento de metais não ferrosos pode ocorrer a geração de ruídos em praticamente todas as fases do processo, devendo ser considerados os danos que podem ser gerados tanto no local de trabalho como nas áreas vizinhas.

O consumo de energia depende do processo utilizado: geralmente nas fundições secundárias, o consumo de energia é menor.

*Como descrito em BNB (1999), os potenciais impactos ambientais negativos serão apresentados considerando os seguintes processos:*

- obtenção do Alumínio;
- fundições secundárias;
- fabricação de produtos de metais não ferrosos.

### 3.7.1 - Potenciais impactos ambientais negativos da obtenção do alumínio

Como o trabalho proposto aborda o processo a partir do alumínio já elaborado, não se faz necessário comentar.

### 3.7.2 - Potenciais impactos ambientais negativos nas fundições secundárias

As fundições secundárias elaboram principalmente material de reciclagem (painelas, cabos, borra etc.), sucata mistas com alto grau de impurezas, escórias, desperdícios metálicos e outros materiais. Para a recuperação dos metais são utilizadas preferencialmente técnicas pirometalúrgicas. A contaminação do meio ambiente, nas fundições secundárias, pode ocorrer principalmente em função das impurezas e contaminantes contidos no material de alimentação como, por exemplo, óleo, tinta, plásticos, solventes e sais.

*Ainda segundo o estudo elaborado pelo BNB (1999), os aspectos ambientais originados nesse tipo de atividade são as escórias salinas e os gases de escape do processo de fusão.*

*De acordo com esse estudo, as carepas de alumínio fundem-se geralmente em fornos*

*de tambor giratório, sob uma camada salina fluida que impede a entrada do ar. O sal absorve as impurezas presentes nas carepas de alumínio, e as geradas durante o processo de fusão, e precipita como escória salina.*

*O alumínio fundido refina-se em conversores por meio de gás cloro. Os gases de escape contêm: poeira, compostos clorados e fluorados e gás cloro. Também podem conter substâncias orgânicas e, dependendo das condições operacionais, pode ocorrer a formação de dibenzo-dioxinas e dibenzo-furanos policlorados.*

### 3.7.3 - Potenciais impactos ambientais negativos na fabricação de produtos de metais não ferrosos

Nas fábricas de produtos os principais problemas de emissões para a atmosfera provêm dos setores de fundição. Nestes processos são utilizados, além do metal, determinadas quantidades de borra necessária de purificação pirometalúrgica em fusão, que segundo Fuoco (1995) no caso do alumínio, aplica-se gases clorados como refinadores.

A borra oleosa produz, durante a fusão, névoa oleosa e névoa ácida que contém cloro e flúor, não se descartando uma possível formação de dibenzo-dioxinas e dibenzo-furanos polihalogenados. Por isso, deve-se efetuar uma limpeza prévia das carepas em fornos de evaporação com câmara de combustão posterior. Os gases de escape devem ser purificados em filtros elétricos e/ou lavadores de gases.

Segundo Roth (1999) os gases de escape dos fornos de fusão podem conter óxidos metálicos, vapores metálicos voláteis e compostos halogenados, que deverão ser retidos em filtros ou lavadores de gases.

As áreas de refrigeração de peças metálicas e escórias que desprendam gases devem possuir coletores que conduzam os gases emitidos ao sistema de tratamento de gases de escape.

Nos processos de desengraxe, limpeza e decapagem de superfícies metálicas devem ser utilizadas soluções alcalinas ou ácidos. Deve ser evitado o uso de solventes orgânicos halogenados e, as águas de lavagem devem ser tratadas em instalações de neutralização.

O lodo residual deve ser processado pirometalurgicamente ou depositado em aterro apropriado, desde que não contenha contaminantes. Os vapores procedentes dos banhos de decapagem e de limpeza a quente devem ser aspirados, condensados em lavador de gases e depois neutralizados.

Os resíduos contaminados e os restos de produção inaproveitáveis podem ser depositados em aterro que possua captação e tratamento de águas de infiltração.

As fábricas de produtos de metais não ferrosos são potencialmente geradoras de ruídos e, considerando que muitas vezes são implantadas próximas a áreas habitacionais, devem ser adotadas medidas de proteção contra o ruído.

#### 3.7.4 - Recomendações de medidas atenuantes

Algumas medidas de atenuação dos impactos gerados na fabricação de produtos de metais não ferrosos podem ser adotadas inicialmente, como o controle de emissões, tratamento dos resíduos, águas residuárias e ruídos, de maneira que o desenvolvimento da atividade seja menos danoso para o meio ambiente, porém isto não significa que seja atingido uma produção limpa.

Roth (1999) recomenda, além do gerenciamento do processo de fundição, a revisão das práticas e condições de operação dos fornos, a preparação adequada dos materiais de fusão e propõe uma tecnologia desenvolvida pela empresa Altek International para a recuperação da borra do alumínio mostrando resultados positivos na conservação dos recursos não-renováveis como energia elétrica e o minério da bauxita, garantindo uma menor geração de escórias e contaminantes aéreos.

Medidas corretivas do tipo *end-of-pipe*, recomendadas no manual de impactos ambientais do BNB (1999), são apresentadas a seguir:

- antecedendo a fusão, execução de limpeza prévia das carepas oleosas, recobertas com plásticos, em fornos de evaporação com pós-queimador para os gases gerados e tratamento dos gases de escape em eletrofiltros e/ou lavadores de gases;



- tratamento dos gases de escape dos fornos de fusão com o uso de ciclones, filtros têxteis e/ou lavadores de gases;
- coleta e tratamento dos gases desprendidos das peças e escórias nas áreas de resfriamento;
- redução do descarte de águas residuárias, mediante tratamento por neutralização e reutilização no processo;
- armazenamento ou destinação final de material contaminante deverá ser feito em aterros ou depósitos que satisfaçam exigências rigorosas quanto à impermeabilização, captação e tratamento de água infiltrada.

### 3.7.5 - Referências para a análise ambiental

As fábricas que processam metais não ferrosos aplicando métodos termoquímicos ou pirometalúrgicos, produzem quantidades consideráveis de poluentes atmosféricos, tanto que, inclusive em regiões com pouca ou sem pré-contaminação, as emissões atmosféricas das fundições não devem ser lançadas no ar sem prévia depuração dos gases.

Conforme Rocca (1993), no funcionamento das plantas é necessário que se faça monitoramento periódico das emissões, a fim de se verificar a eficácia dos sistemas de tratamento de gases existentes.

Além do aspecto ambiental, a redução das emissões atmosféricas pode oferecer vantagens econômicas, uma vez que com o processamento da poeira e dos gases recuperam-se conteúdos metálicos de alto valor ou se obtém ácido sulfúrico.

Nas plantas que utilizam processos hidrometalúrgicos, os resíduos são processados e submetidos a repetidos tratamentos térmicos, filtrações e operações de lavagem seguidas de neutralização.

As águas residuárias procedentes das instalações de lavagem de gases ou de oficinas de decapagem devem ser neutralizadas quimicamente, e deve proceder-se à remoção dos sólidos para posterior lançamento ou, de preferência, reaproveitamento por uso múltiplo.

Para o lançamento de águas residuárias devem ser observados os padrões para lançamento de efluentes líquidos definidos na Resolução n.º 20 de 1986 do CONAMA — Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Para as fundições secundárias, deve-se considerar o problema dos materiais de alimentação contendo impurezas, especialmente aquelas que contêm materiais residuais de cloro ou PVC, que, em combinação com matérias orgânicas e dependendo das condições de operação das fundições, representam uma fonte potencial de emissão de dioxinas e furanos.

Segundo o BNB (1999), o Decreto-lei 1413 de 14/08/75 que trata sobre o controle da poluição do meio ambiente originadas pelas atividades industriais onde acontecem as emissões atmosféricas, o despejo de águas residuárias e de resíduos sólidos, recomenda a verificação dos riscos potenciais para as águas superficiais e subterrâneas, e para o solo.

O armazenamento de material com conteúdo contaminante deve ser feito somente em aterros apropriados, que possuam condições adequadas de impermeabilização, captação e tratamento de águas de infiltração.

A contaminação do solo com metais pesados pode comprometer a sua utilização para fins agrícolas. Deve-se avaliar se há contaminação especialmente com zinco, cobre, cromo, chumbo, níquel e cádmio, nas regiões próximas às fundições.

A tendência do desenvolvimento tecnológico do setor aponta para a produção em circuito fechado, mediante: melhor aproveitamento dos materiais de alimentação; da fabricação de produtos intermediários e finais puros, sem a necessidade de ocupação de áreas com aterro; o aperfeiçoamento das medidas de proteção contra as emissões e do aproveitamento da poeira e dos sólidos separados.

Com a adoção destas medidas, o processamento de produtos do alumínio, que hoje está entre as atividades de maior potencial poluidor, reduzirá significativamente a carga de poluentes gerados.

## ***CAPÍTULO 4 – O ESTUDO NA EMPRESA ALUBRAS S/A***

### **4.1 – Histórico**

Durante visitas profissionais em diversas empresas de transformação do alumínio, observou-se que problemas como os desperdícios e a poluição ambiental apresentavam-se com as mesmas características em todas as plantas produtivas. Notou-se então, que as causas também deveriam ser semelhantes.

Diante da situação, resolveu-se pesquisar sobre o assunto, de forma a identificar os pontos de interseção e encontrar tecnologias alternativas suficientes à otimização do processo industrial, reduzindo ou eliminando os fatores prejudiciais ao meio ambiente. Essa proposta apresenta um pré-requisito importante: a viabilidade econômica, ou seja, que sua aplicação também proporcione redução de custo.

Para verificação dessas hipóteses, foi elaborada uma metodologia com o objetivo de atingir uma produção mais limpa no processo de transformação do alumínio. Para isso, foi escolhida, como empresa piloto, a Alubrás – Artefatos de Aço e Alumínio do Brasil S/A.

### ***4.2 – O Perfil da Empresa Piloto***

*Fundada em 20 de abril de 1976 com projeto aprovado na Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, a Alubrás mantém na região metropolitana de Fortaleza, um parque industrial com 10.000 m<sup>2</sup> de área construída encravada em terreno com 50.740m<sup>2</sup>, sendo preservada parte da vegetação nativa. Opera atualmente em horário comercial, com 134 pessoas no seu quadro de funcionários.*

*Com o cumprimento do contrato firmado com os órgãos financiadores do projeto, passou a operar com*

*capital próprio, permanecendo em situação estável no mercado. Durante muitos anos, adotou o modelo familiar de administração mantendo-se satisfeita com seus resultados na região.*

*Sua principal atividade é a produção de utensílios domésticos para atender às classes média e baixa. Dispõe na sua linha de produtos, painéis e acessórios de cozinha, como também fornece discos de alumínio para outras indústrias.*

*Até meados da década de 90, sua matéria-prima principal era o alumínio AA1100 em lingotes, adquirido das usinas produtoras do Maranhão. Com o lançamento das novas linhas, profissional e cosinella em 1994, a falta das condições operacionais de fundição para o processamento da liga AA1050 especificada por seus clientes obrigou a Empresa a comprar no Rio de Janeiro, placas pré-laminadas para a fabricação de tais produtos. Como informado por seu departamento de compras, os custos de aquisição desse material representam em média 30% de acréscimo em relação ao lingote.*

*Com a abertura do mercado brasileiro aos produtos importados, a empresa resolveu investir na modernização e, em 1998, profissionalizou seu quadro administrativo com o objetivo de ampliar seus mercados.*

*Logo no início da nova gestão, investiu no desenvolvimento de tecnologias, no treinamento de pessoal e no projeto de novos produtos. Também, assumiu de forma pró-ativa uma política para a*

*preservação do meio ambiente, acreditando na  
implantação desse estudo cujo objetivo é atingir a  
produção limpa.*

### **4.3 – Fundamentos da Metodologia**

Com base na análise de alguns autores, como Lakatos *et al* (1992) e Vieira (1996), acredita-se que esse trabalho de pesquisa poderá adotar uma abordagem qualitativa do tipo estudo de caso.

O estudo de caso segundo Godoy (1995), é caracterizado por ser um tipo de pesquisa qualitativa com o objetivo de proporcionar uma vivência da realidade por meio da discussão, análise e tentativa de solução de um problema real. Esse modelo também é adotado quando o estudo envolve fenômenos de difícil controle dos eventos, e quando direcionado a problemas atuais que somente poderão ser analisados dentro do contexto real.

Segundo Yin (1989, p23) “ ... é uma forma de se fazer pesquisa empírica que investiga fenômenos contemporâneos dentro de seu contexto de vida real, em situações em que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não estão claramente estabelecidas”.

Para trabalhos que usam o método do estudo de caso, normalmente o pesquisador utiliza distintos dados coletados em diferentes instantes através de variadas fontes de informação.

Conforme Godoy (1995), a observação e a entrevista são empregadas como técnicas fundamentais desse modelo de pesquisa. Seus relatórios apresentam estilo simples e mais informal, podendo ser uma narrativa ou ilustrações acompanhadas de citações ou ainda, exemplos descritos conforme informações do sujeito. Também acompanham desenhos, colagens ou qualquer artifício que esclareça seu entendimento.

O desenvolvimento do estudo de caso pode ser baseado em um problema conhecido ou que surgiu ao acaso para o pesquisador, porém direcionado por uma temática suficiente às decisões iniciais, como por exemplo: Qual a unidade a ser estudada? Qual o setor de produção? A abordagem será centrada numa única organização ou o estudo será comparativo?

As decisões também devem determinar o que e quando observar, os tipos de documentos e suas análises além das fontes de informação, fontes estas fundamentais para a obtenção dos dados requeridos.

Uma vez definidos esses aspectos, o próximo passo será a negociação do acesso ao local escolhido, devendo ser acertado de maneira formal, com o endosso de seu principal responsável.

Quanto ao papel do pesquisador no ambiente de pesquisa, Godoy (1995) expõe a necessidade de esclarecimento do principal objetivo às pessoas diretamente envolvidas no fornecimento das informações, evitando assim que seja confundido com algum elemento de fiscalização de suas atividades o que provocaria uma rejeição natural à presença do pesquisador no local de trabalho.

Definidos os passos anteriores, pode-se iniciar o trabalho de campo. Nessa fase deverão ser coletados os dados dos fenômenos em suas formas naturais, utilizando-se de técnica como a entrevista, a observação, as medições e a análise desses dados apurados.

O método da observação tem uma grande importância para o estudo de caso pois, com essa técnica, procura-se entender as aparências, eventos e/ou comportamentos. Segundo Godoy (1995, p.27), “Embora o pesquisador deva manter uma perspectiva de totalidade, é importante ter claros seus focos de interesse”. Sua recomendação procura evitar a coleta excessiva de informações sem utilidade para o estudo.

Durante a pesquisa, deve-se fazer análises periódicas das informações e confrontá-las com as questões e proposições do estudo, fazendo com isso, que os dados relevantes cheguem de forma organizada ao estágio da análise final. A organização de todo o material coletado é uma tarefa difícil e exige o domínio completo tanto do conteúdo como da metodologia adotada pelo pesquisador.

#### **4.4 – O Desenvolvimento**

*Para o desenvolvimento da metodologia,  
procurou-se inicialmente obter um amplo conhecimento*

*dos temas envolvidos, mantendo-se uma postura de aplicabilidade orientada aos objetivos desse estudo.*

*Esse direcionamento fez com que o pesquisador desenvolvesse todo o trabalho nas dependências da empresa piloto. Embora a permanência tenha sido extensa, foi tomado o devido cuidado no sentido de evitar a personalização da metodologia.*

Na construção completa do trabalho, foram gastos 34 meses entre março de 1998 e dezembro de 2000, distribuídos na forma apresentada no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Fases da pesquisa

DESCRIÇÃO DAS FASES DA PESQUISA	TEMPO EMPREGADO
PESQUISA BIBLIOGRÁFICA SOBRE O PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DO ALUMÍNIO.	4 MESES
PESQUISA BIBLIOGRÁFICA SOBRE OS CONCEITOS DA QUALIDADE ENVOLVENDO OS FATORES AMBIENTAIS CORRELACIONADOS.	3 MESES
PARTICIPAÇÃO DE CURSOS E SEMINÁRIOS E PESQUISA DE CAMPO	11 MESES
DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	2 MESES
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	10 MESES
DISSERTAÇÃO DO ESTUDO	4 MESES

Fonte: elaborado pelo autor

Inicialmente foi feita uma exaustiva pesquisa bibliográfica sobre os processos de transformação do alumínio, onde procurou-se identificar individualmente os métodos compatíveis com a atividade industrial e com o meio ambiente.

Nessa etapa foram consultadas publicações técnicas, manuais de grandes empresas multinacionais, periódicos, anais de eventos internacionais e catálogos de fornecedores de materiais.



O segundo passo foi a revisão nos conceitos ambientais a partir da Agenda 21, focalizando as ações para uma produção mais limpa, como recomendado para o desenvolvimento sustentável.

Para a classificação e análise dos aspectos e impactos ambientais foram adotadas as diretrizes da norma NBR ISO 14001(1996) e as experiências de Carvalho (1998).

Para que os resultados atendessem à legislação ambiental, foram efetuadas 4 visitas à Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE, onde foram feitas consultas ao seu pessoal técnico, como também às leis em vigor.

Durante o desenvolvimento do trabalho, o pesquisador participou de alguns eventos dentre os quais cita-se: o curso de Gestão e Legislação Ambiental da Universidade de Fortaleza, o V Seminário Internacional sobre a Reciclagem do Alumínio em São Paulo, e palestras relacionadas ao tema realizadas na Federação da Indústria do Estado do Ceará – FIEC, além de visitas a outras empresas relacionadas a atividade industrial em estudo.

#### 4.4.1 – Instrumentos de coleta de dados

Para a pesquisa de campo, foram dedicados 11 meses de acompanhamento na planta industrial, onde aplicou-se as técnicas da observação, pesquisa em arquivos e questionamento informal para compreensão do processo e coleta dos dados. Essa abordagem seguiu um *check-list* como demonstrado no item 5.2.3. Durante esse período, também foram efetuados testes e medições, com o uso dos seguintes equipamentos:

- Para temperatura ambiente - termômetro de globo digital, modelo TGD 200, marca Instruterm;
- Para temperatura do alumínio, coquilhas e água de resfriamento – termômetro digital, modelo HT2 –40 à 800°C, marca WOMA;
- Para ensaio metalográfico do alumínio – microscópio digital, modelo BX60M, marca Olympus, ampliação 100x;
- Para análise química do alumínio – espectrofotômetro analógico, modelo spectronic 20, marca Bauch & Lomb;
- Para análise dos gases de combustão – analisador de gases, modelo 325-2, marca Testo.

Essas coletas foram realizadas com o auxílio do departamento técnico da Empresa. Os ensaios mecânicos para a determinação do limite de resistência e de escoamento, e dureza do alumínio, foram feitos a partir dos corpos de prova enviados aos fornecedores de materiais.

Os resultados foram valorados pela média aritmética das medições. Todas foram repetidas 5 vezes. Para as tomadas de temperatura, as medições aconteceram em horários e condições distintas de operação, como: no início, durante e ao final do período de trabalho.

Os dados referentes aos custos de produção foram fornecidos pela empresa, que adota o preço médio ponderado móvel para a valoração dos materiais e, a taxa hora homem – thh para o cálculo da mão-de-obra.

#### 4.4.2 – A aplicação da metodologia

Por uma questão temporal e, pelos conhecimentos e dados já adquiridos, a aplicação da metodologia foi feita na própria empresa piloto.

A metodologia pronta foi apresentada à diretoria da Empresa para que fosse definido um programa de implantação. Nesse documento foram definidas as prioridades e as datas para início e conclusão dos trabalhos. Os prazos foram cumpridos como planejado, porém, ocorreram pequenas variações devido aos atrasos nas entregas de equipamentos e na realização das obras.

Para a aplicação da metodologia foram somados 10 meses, onde participaram diretamente o pesquisador, o gerente técnico, os supervisores da produção e da manutenção, o analista de métodos e processos e o diretor industrial da Empresa.

A etapa mais difícil foi a mudança do combustível, pois envolveu a parada do setor de fundição durante 45 dias, para que fossem realizadas as instalações e adaptações nos fornos e linhas de distribuição. Para a viabilização comercial e financeira foi sugerido pelo pesquisador, um regime de comodato para os equipamentos, com o qual a empresa reduziu 90% do investimento necessário.

Técnicos e engenheiros das empresas Set-Point, fornecedora dos equipamentos de combustão e Tropigás, fornecedora de glp, também participaram das instalações do novo sistema

de combustão. A metodologia e sua aplicação estão demonstradas detalhadamente no capítulo 5 desse trabalho.

## ***CAPÍTULO 5 – A METODOLOGIA E SUA APLICAÇÃO***

### **5.1 – Introdução**

Com essa metodologia, pretende-se enquadrar, dentro do conceito de produção limpa, o setor de transformação de alumínio de uma Empresa metalúrgica. Esse trabalho pode ser classificado como uma pesquisa aplicada na forma descritiva de estudo de caso onde foram consideradas a leitura seletiva e a técnica da observação direta no campo.

Após a apresentação da estrutura teórica e das referências bibliográficas, nesse capítulo, está demonstrada a metodologia para se atingir os objetivos da pesquisa. A metodologia segue um fluxo contínuo dividido em etapas subseqüentes como mostrado no diagrama da figura 5.1.

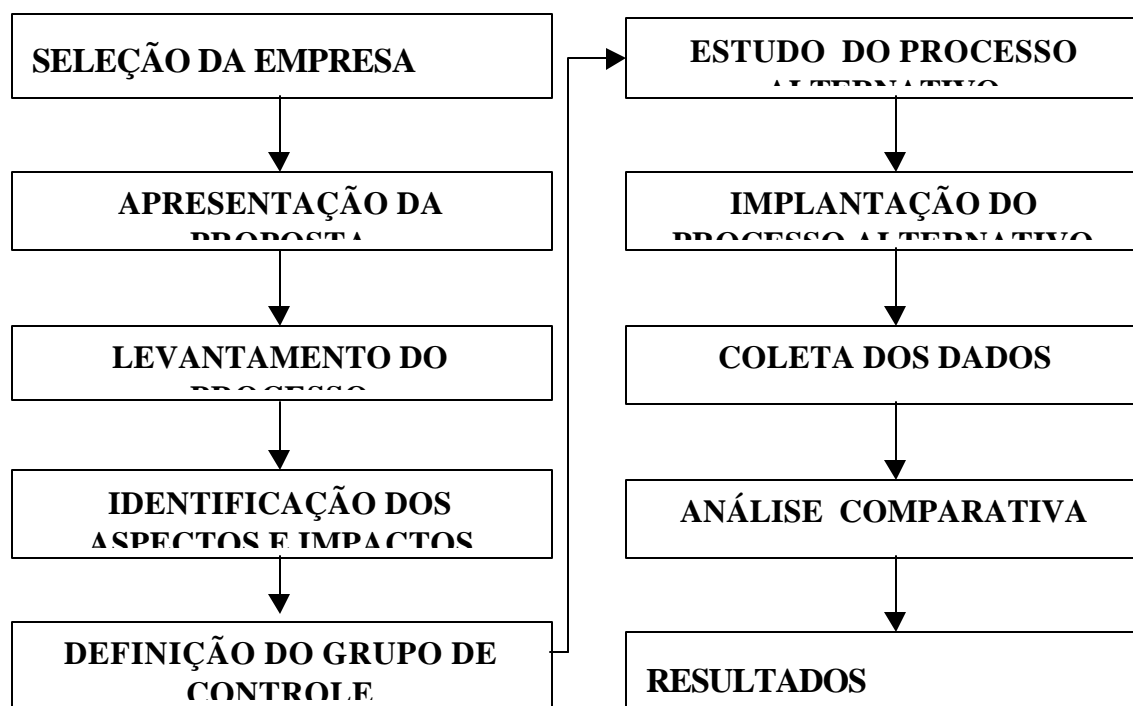


Figura 5.1 – Fluxo geral da metodologia. Fonte: elaborado pelo autor.

### **5.2 – Metodologia Proposta**

Para atingir o objetivo desse trabalho, é necessário que o pesquisador participe diretamente de todas as etapas detalhadas a seguir.

### 5.2.1 – Seleção da empresa

Para a seleção da empresa ideal ao desenvolvimento o trabalho, recomenda-se os seguintes critérios:

- a empresa deve enquadrar-se no segmento metalúrgico, com processo industrial de transformação do alumínio conforme exposto no capítulo 3;
- conhecer os aspectos e impactos ambientais originados de seu processo industrial e querer eliminar ou minimizar estes problemas adequando a organização ao conceito limpo de produção ;
- ter interesse em participar do projeto onde serão necessários investimentos financeiros, disponibilidade de tempo e mudanças no processo de fabricação.

Para localização de empresas com estas características, consultar a Federação da Indústria local. Solicitar ajuda para o primeiro contato com o objetivo de evitar os entraves no acesso a esse tipo de organização.

### 5.2.2 – Apresentação da proposta

Definida a empresa, é necessário a apresentação da proposta de trabalho, dando ênfase aos benefícios esperados principalmente se envolvem custos.

Em primeiro lugar uma demonstração geral e objetiva à alta administração usando uma linguagem simples sem muitos termos técnicos, procurando passar o que se sabe na forma que eles compreendam. Expor um cronograma com as previsões para cada etapa do trabalho observando os recursos necessários.

As próximas apresentações são mais específicas e deverão ser feitas para as gerências e supervisões envolvidas, e, posteriormente, aos funcionários diretos participantes do processo.

Durante a execução do trabalho, deverão ser convocadas reuniões de atualização onde serão acompanhadas a evolução do projeto e a manutenção do consenso.

### 5.2.3 – Levantamento do processo existente

É a primeira etapa da pesquisa no campo. Este levantamento permite ao pesquisador, conhecer e entender a cadeia produtiva em estudo. Toda esta etapa deverá ser desenvolvida pelo próprio pesquisador através da observação direta utilizando-se de um *check-list* com perguntas da seguinte forma:

- O que está sendo feito?
- Qual a finalidade da operação?
- Como é feita a operação?
- Quando é feita esta operação?
- Quanto custa esta operação?
- Quais os materiais aplicados nesta operação?

Com parte dessas informações, preparar um fluxograma de processo como proposto por Barnes (1977). Esta ferramenta permite a representação de todas as fases do processo e seus relacionamentos na forma gráfica através de símbolos padronizados, com o objetivo de demonstrar de maneira lógica e clara o fluxo da produção.

Conhecido o fluxo do processo, é necessário a construção de um *lay-out* onde as operações são vinculadas aos equipamentos, materiais, pessoas, estado do produto e os eventos que acontecem no espaço físico delimitado. Esses eventos serão analisados quanto à significância dos aspectos e impactos ambientais conforme apresentado no item 5.2.4.

As orientações para a construção do *lay-out* podem seguir o método exposto por Barnes (1977) ou qualquer outro autor na linha de estudo de métodos da produção.

O levantamento do processo deve ser desenvolvido em 3 meses com acompanhamento diário da partida ao encerramento das atividades. No caso da empresa operar em regime contínuo de 24 horas, a observação poderá ser alternada, conforme os turnos de produção.

#### 5.2.4 – Identificação dos aspectos e impactos ambientais

Essa etapa pode ser considerada a mais importante do estudo, onde procura-se determinar, além dos eventos prejudiciais ao meio ambiente, as origens dos aspectos e impactos ambientais desse processo industrial.

O método para a identificação está fundamentado nos itens 2.4 e 2.5 do capítulo 2, aplicado conforme o seguinte roteiro:

- observar a ocorrência dos aspectos ambientais no processo produtivo;
- identificar os aspectos ambientais conforme o anexo A.3.1 norma NBR ISO 14001(1996);
- classificar os aspectos quanto ao controle e detecção;
- identificar os impactos ambientais resultantes dos aspectos classificados;
- avaliar a significância dos impactos ambientais;
- identificar através da observação direta, as operações ou atividades geradoras dos impactos.
- Desenvolver o processo de avaliação dos dados coletados, por operação ou atividade, conforme apresentado no item 2.4.3 do capítulo 2.

Essa etapa deverá abranger todos os horários possíveis de ocorrência de eventos ambientais. Para seu desenvolvimento seguro, acompanhar três períodos de limpeza dos fornos cuja operação ocorre em média, a cada trinta dias.

#### 5.2.5 – Definição do grupo de controle

Na definição do grupo de controle, o objetivo é manter como parâmetro os dados inicialmente identificados na empresa, para posterior comparação. É importante considerar os números desses grupo como o padrão mínimo a ser alcançado.

Devem fazer parte do grupo de controle, os resultados de processo atingidos pela estrutura atual. Como exemplo: volume de produção, matérias-primas, energia elétrica, materiais e acessórios aplicados e outros, registrados em quantidade e/ou valor realizado.

As informações deverão ser fornecidas pela organização durante a aplicação do *check-list* citado no item 5.2.3.

Dois meses são suficientes a este levantamento cuja abrangência envolve tempo integral como as etapas anteriores. Todos os dados registrados nesta etapa também deverão ser levantados após a implantação do método alternativo.

#### 5.2.6 – Estudo do Processo alternativo

O estudo tem o objetivo de identificar técnicas de transformação do alumínio viáveis ao processo industrial, que sejam compatíveis com a preservação ambiental e, atendam ao conceito de produção limpa.

Para isso, é feita uma profunda pesquisa bibliográfica sobre o processo de transformação do alumínio como apresentado no capítulo 3. Por se tratar de uma abordagem técnica, recomenda-se além de publicações didáticas, experiências de outros pesquisadores, trabalhos apresentados em congressos internacionais, acervo de empresas do ramo e orientações de fornecedores dos materiais aplicados. A pesquisa *on-line* via *internet* já é válida, permitindo rápido e atualizado acesso às informações.

Durante a pesquisa, pode-se obter dados técnicos praticados pelas grandes multinacionais do setor de produção do alumínio. Já em relação à transformação desse metal em produtos, nenhum material específico sobre tecnologias ou processos limpos foi encontrado nos dois anos de estudo. Devido a isso, adaptações e ajustes devem ser feitos de acordo com a empresa onde deverá ser aplicado o novo processo.

Para o bom desempenho desta etapa, é importante a observação no campo das informações obtidas durante a revisão bibliográfica. O período necessário ao estudo é estimado em 4 meses, podendo variar conforme as condições de acesso disponíveis ao pesquisador.

#### 5.2.7 – Implantação do processo alternativo



A aplicação do estudo tem como objetivo eliminar ou minimizar os aspectos e impactos ambientais do processo de transformação do alumínio. Para que as hipóteses do estudo sejam validadas, os resultados produtivos não devem ser inferiores aos registrados no início do trabalho.

A Empresa é responsável pela implantação do projeto, devendo preparar um cronograma conforme suas condições operacionais. O pesquisador deve acompanhar e orientar toda a execução. Estima-se que sejam necessários 12 meses para a conclusão desta etapa. O que mais contribui para este longo período, são as adaptações de equipamentos e a compra dos novos materiais especificados.

A abordagem deve ser feita por operação ou atividade identificada como fonte dos eventos ambientais. A ordem para os trabalhos não deve influenciar nos resultados finais.

#### 5.2.8 – Coleta dos dados

Após a implementação do processo proposto, deve-se desenvolver a coleta dos dados atendendo aos mesmos critérios utilizados para a definição do grupo de controle, item 5.2.5.

A coleta pode ser realizada conforme a ordem de conclusão dos trabalhos de implementação do método.

#### 5.2.9 – Análise comparativa dos resultados

Organizar em um quadro, os dados de controle e todos os coletados ao final da aplicação do método proposto. Proceder a análise dos resultados, pela comparação quantitativa ou dicotômica considerando os processos estudados.

O resultado geral será apresentado após o teste das hipóteses em capítulo específico ao final desse trabalho de pesquisa.

### ***5.3 – Aplicação da Metodologia***

#### 5.3.1 – Escolha da empresa

Como o desenvolvimento, a aplicação da metodologia também foi feita na Alubrás S/A, e contou com a participação de seu analista de métodos e dois supervisores de produção. Também envolveu fornecedores de equipamentos e insumos relacionados às tecnologias em estudo.

A Empresa foi escolhida com base nas seguintes recomendações expostas na metodologia:

- ***enquadra-se no segmento metalúrgico, operando na transformação do alumínio como exposto no capítulo 3;***
- embora tenha demonstrado desconhecimento técnico sobre os aspectos e impactos ambientais originados de seu processo industrial, a Empresa tem interesse em eliminar ou minimizar estes problemas adequando a organização ao conceito limpo de produção;
- quanto aos investimentos, foi estabelecido a liberação de recursos conforme o andamento do projeto.

#### 5.3.2 – Apresentação da proposta

*A proposta foi apresentada em reunião com os membros da diretoria, na qual durante uma hora e meia foram discutidas principalmente as vantagens da produção limpa em relação ao tratamento end-of-pipe. Também foi demonstrado que a minimização esperada da borra do alumínio, a redução do consumo de energia elétrica entre outros, deveriam reduzir custos na produção.*

*A proposta foi aceita porém, com as seguintes restrições:*

- *o pesquisador deverá participar integralmente de todas as fases da aplicação e se prontificará a prestar assistência após a implantação por um período de seis meses ou até que um funcionário seja devidamente treinado para manter o processo funcionando corretamente;*
- *as paradas de produção necessárias deverão ser previamente acordadas com a diretoria industrial;*
- *após o levantamento dos dados de controle, uma nova reunião deverá ser realizada para a discussão dos investimentos previstos, e ser analisada a continuidade do projeto.*

#### 5.3.3 – O Processo de produção

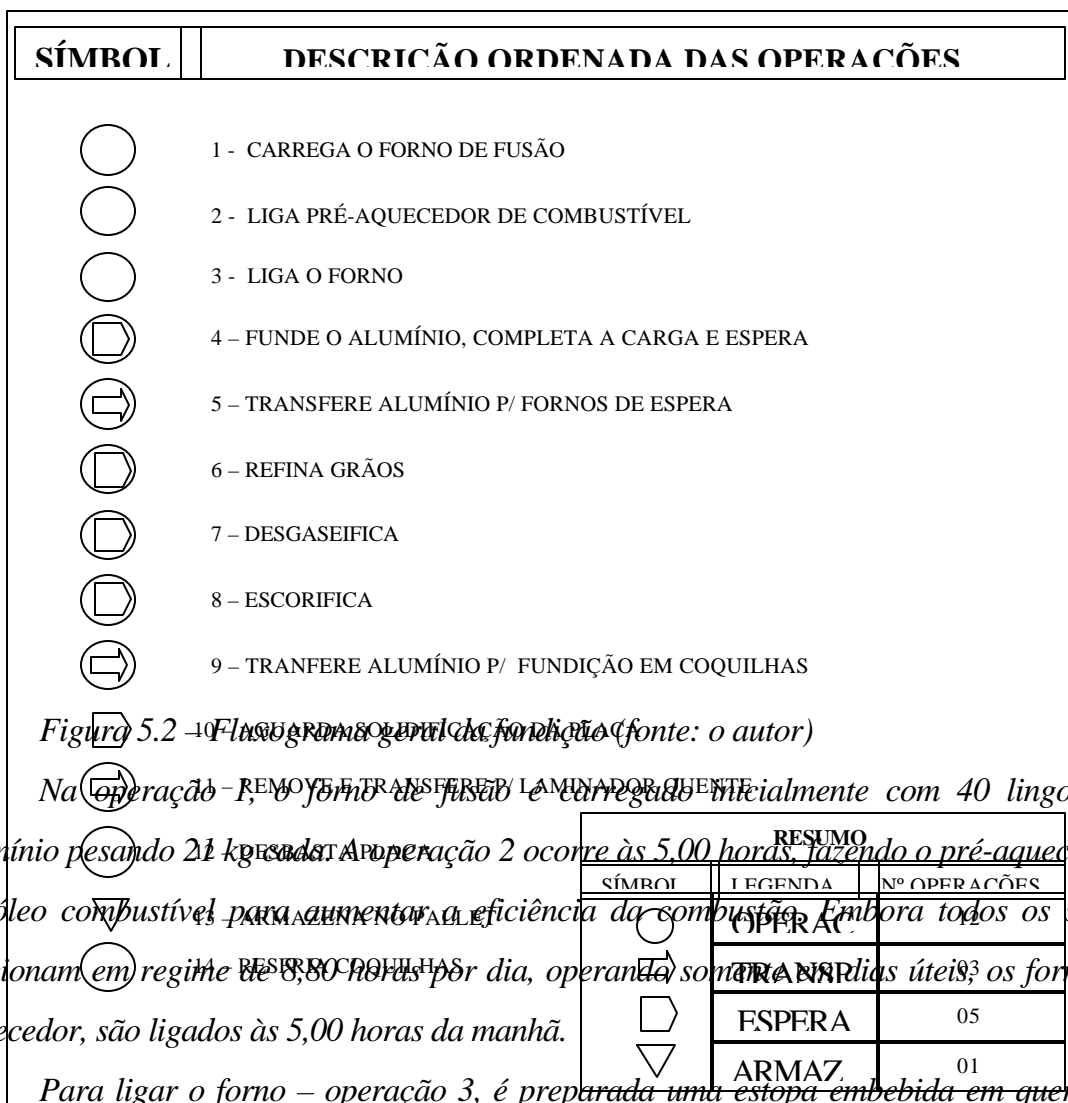
*A Alubrás, dispõe de três unidades de produção alocadas no mesmo parque industrial distribuídos conforme o Quadro 5.1:*

Quadro 5.1 – Unidades Industriais

UNIDADE	SETORES DE PRODUÇÃO
LAMINADOS	FUNDIÇÃO, LAMINAÇÃO, CORTE, TRATAMENTO
ESTAMPADOS	REPUXO, ESTAMPARIA, POLIMENTO, ACABAMENTO
VASOS DE	CONFORMAÇÃO, POLIMENTO, MONTAGEM

*Fonte: o autor*  
*O estudo aborda a unidade de laminados, especificamente o setor de fundição. Neste*

setor, são desenvolvidas as operações de fusão do alumínio, tratamentos, moldagem e laminação a quente. Após o levantamento de todo o processo, pode-se observar as operações e respectivas atividades desenvolvidas no setor. Para facilitar a compreensão da seqüência, um fluxograma geral é exposto na Figura 5.2.



RESUMO		
SÍMBOLO	LEGENDA	Nº OPERAÇÕES
○	OPERAÇÃO	01
→	TRANSFERÊNCIA	03
◻	ESPERA	05
▽	ARMAZENAMENTO	01

*Na operação 4, a fusão dos lingotes de alumínio, é realizada em forno revérbero a óleo, com temperatura média de 1000°C durante 2,50 horas. Quando o material chega ao estado líquido, são adicionados retalhos e refugos de processo até atingir o nível máximo do forno. A quantidade desse material não é controlada.*

*Procedimentos de recarga são feitos ao longo do dia usando mais 35 lingotes, retalhos, em cargas alternadas. A rotina ocorre sempre após a operação de transferência do alumínio líquido para o forno de espera, identificada no fluxograma como operação 5. Esta operação semi-automática acontece quando o indicador de temperatura estabiliza em 900°C.*

*Foi observado que ocorrem falhas no sistema de temperatura e o ponto ideal de transferência é na realidade indicado pelo supervisor da fundição.*

*A espera é feita nos dois fornos elétricos de 36 kW, em cadinhos refratários com capacidade para 250 kg de alumínio cada.*

*Para o refinamento de grãos (operação 6), são adicionadas a cada corrida de 250 kg de alumínio, 06 pastilhas de 50 gramas contendo 5% de titânio, 1% de boro e outros elementos desconhecidos. Aguarda-se 05 minutos e é iniciada a desgaseificação.*

*A desgaseificação, operação 7, tem o objetivo de remover bolhas de hidrogênio do banho através da imersão de 08 pastilhas de cloro. Após a adição desse elemento, ocorre uma espera de 10 minutos e começa o próximo tratamento.*

*A operação 8, chamada de escorificação, consiste na aplicação de cloreto de sódio pela superfície do metal líquido, com o objetivo de separar a borra e facilitar sua remoção. A borra é o resíduo da fusão e representa 3% do alumínio fundido.*

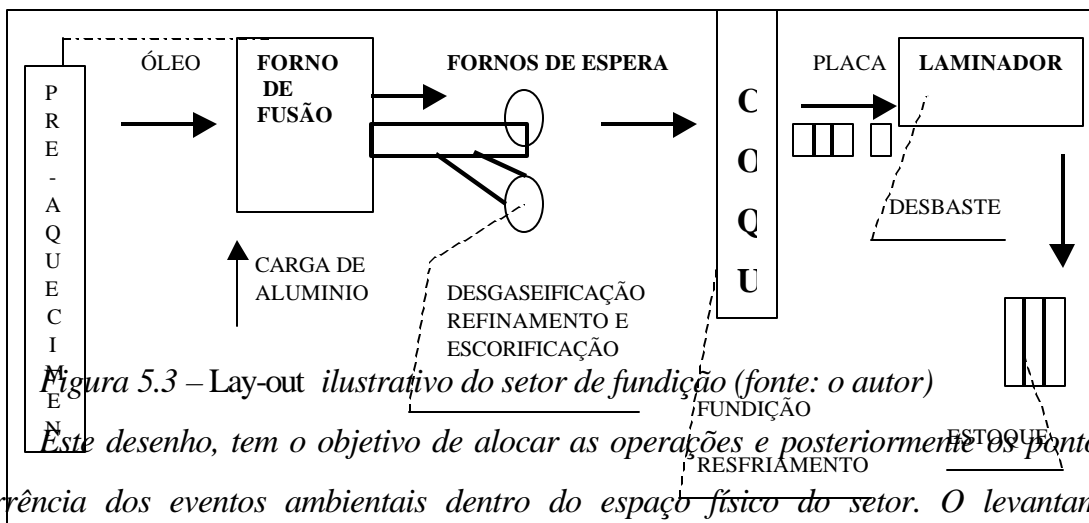
*A transferência do metal para as coquilhas, referenciada como operação 9, é feita em conchas de aço carbono revestidas com grafite. O transporte é manual e a concha tem o mesmo volume da coquilha, na qual é formada a placa de alumínio. A placa tem 400 mm de comprimento, 250 mm de largura, 25 mm de espessura, e pesa 6,6 kg. O tempo médio para a solidificação é de 10 segundos.*

*As operações 11 e 12, acontecem imediatamente após a solidificação, quando a placa é removida da coquilha e transferida para o laminador a quente, para então ser desbastada em 03 passos até chegar à 9 mm de espessura.*

*As placas são sobrepostas em pallets para resfriamento e posteriormente transferidas ao setor de laminação. Ao final desta etapa, as coquilhas são resfriadas com água corrente.*

A partir da operação 4, o ciclo é repetido onze vezes ao dia. A produção média diária é de 400 placas somando 2640 kg. Para atingir essa produção, são processados 2722 kg de alumínio, com perda média de 88 kg por dia.

De posse dos dados de processo, foi desenvolvido o lay-out do setor de fundição como mostra a Figura 5.3.



Este desenho, tem o objetivo de alocar as operações e posteriormente os pontos de ocorrência dos eventos ambientais dentro do espaço físico do setor. O levantamento completo do processo ocorreu durante 4 meses e 10 dias em horário integral de 7:00 às 18:00 horas.

#### 5.3.4 – Identificação do aspectos e impactos ambientais

A identificação desses eventos foi desenvolvida individualmente em cada posto de operação. Durante 90 dias, foram observados e identificados os aspectos ambientais e seus respectivos impactos no meio ambiente.

Na classificação quanto a categoria, foram selecionados para estudo os aspectos diretos e reais, por apresentarem possibilidade de tratamento conforme os itens 2.4 e 2.5 do capítulo 2. Quando avaliada sua significância, os impactos ambientais gerados demonstraram-se todos severos.

Conhecidos todos os dados, foi desenvolvida a avaliação com base no estudo apresentado no capítulo 2. Como na fase de identificação, esse procedimento foi aplicado individualmente nas operações observadas como as de maior significância ao meio ambiente. São elas: pré-aquecimento, fusão, refinamento, desgaseificação e resfriamento das coquilhas.

##### 5.3.4.1 – Avaliação na operação de pré-aquecimento

Os aspectos e impactos ambientais são gerados a partir da ignição do aquecedor até às 16,50 horas, quando é desligado o forno de fusão. Os resultados da avaliação são apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais – Pré-aquecimento.

AVALIAÇÃO DO PROCESSO		
<b>Unidade:</b> Fundação	<b>Responsável:</b> Dento, Técnico	<b>Data:</b>
<b>Equipamento:</b> Aquecedor Elétrico	<b>Condição de Operação:</b>	
<b>Operação:</b>	Pré-Aquecimento Rnf	Pré-Aquecimento Rnf
<b>Atividade:</b>	Aquecer Combustível	Transferir Combustível
<b>Controle / Detecção</b>	Direto / Real	Direto / Real
<b>Aspecto Ambiental:</b>	Emissão de Gases	Derramamento de Óleo
<b>Impacto Ambiental:</b>	Contaminação do Ar	Contaminação do Solo
<b>Avaliação</b>	Segundo o departamento técnico da empresa, nenhum estudo foi realizado para	Isolado
<b>Severidade:</b>	Média	Média

Fonte: elaborado pelo autor.  
 Quando o departamento técnico da empresa, nenhum estudo foi realizado para eliminar ou lavar os gases do processo. Em relação ao derramamento e alastramento de óleo no solo, observou-se que é provocado pela elevação do nível de combustível quando a temperatura ultrapassa o ponto de ebulição que é de 180°C. Alguns procedimentos corretivos, como a instalação de controladores de temperatura e a remoção do óleo derramado, foram inicialmente executados.

#### 5.3.4.2 – Avaliação na operação de Fusão do alumínio

A emissão de gases é originada da combustão diária de 800 kg de óleo BPF. Observou-se que nenhum tipo de tratamento é realizado para minimizar esse problema que atinge todo o galpão de produção e a circunvizinhança da Empresa. Esses gases são compostos de fuligem, monóxido e dióxido de carbono, enxofre, e outros citados no Capítulo 3.

A borra gerada durante a fusão é composta de alumínio e óxido de alumínio, resíduo do óleo combustível e partículas de revestimento refratário. Conforme pesquisa em arquivos, as perdas do metal representam em média 3%, e a produção do resíduo total chega a 6% da carga.

Esses aspectos ambientais foram analisados e os resultados estão descritos no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais – Fusão do Alumínio

AVALIAÇÃO DO PROCESSO		
<b>Unidade:</b> Fundação	<b>Responsável:</b> Dento, Técnico	<b>Data:</b>

*Fonte: elaborado pelo autor*

#### *5.3.4.3 – Avaliação nas operações de tratamento do alumínio*

*Nos tratamentos de refinamento de grãos e de desgaseificação do alumínio, foi observada a ocorrência de aspectos e impactos ambientais*

*No refinamento de grãos, ao ser adicionada uma pastilha branca a base de titânio, ocorre uma reação imediata com borbulhamento no alumínio líquido e, a emissão de uma fumaça com odor forte e asfíxiante, por aproximadamente 05 minutos, repetindo-se oito vezes ao dia.*

*A reação na desgaseificação também provoca precipitação e a emissão de fumaça branca de odor ativo e irritante aos olhos, exigindo inclusive a evacuação de todos os funcionários do setor por tempo médio de 10 minutos, repetindo-se a cada corrida. Segundo um fabricante do produto, que não autorizou mencionar sua razão social, a pastilha é composta de cloro concentrado e sua reação libera vapores tóxicos, corrosivos, considerados prejudiciais à camada de ozônio.*

*Foi verificado in loco que os vapores dos tratamentos chegam a atingir o raio de 300 metros em torno da empresa. Os resultados dessa avaliação são mostrados no Quadro 5.4*

*Quadro 5.4 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais – Tratamentos*

AVALIAÇÃO DO PROCESSO		
<b>Unidade:</b> Fundação	<b>Responsável:</b> Dento. Técnico	<b>Data:</b>
<b>Equipamento:</b> Forno elétrico Morgam	<b>Condição de Operação:</b> Ao contato	
<b>Operação:</b>	Refinamento de grãos	Desgaseificação do alumínio
<b>Atividade:</b>	Adição da pastilha de titânio	Adição da pastilha de cloro
<b>Controle / Detecção</b>	Direto / Real	Direto / Real
<b>Aspecto Ambiental:</b>	Emissão de vapores agressivos	Emissão de gases
<b>Impacto Ambiental:</b>	Contaminação do ar	Contaminação do ar
<b>Abrangência</b>	Limitada	Limitada
<b>Severidade:</b>	Alta	Alta

*profundo que abastece toda a empresa. É realizado por aspersão manual através de*

mangueira com bocal tipo chuveiro. A água utilizada é coletada em calha de concreto e direcionada ao sumidouro. Não existem controles de vazão, tempo e temperatura, ficando os limites destas variáveis por conta do operador.

Para mensurar a vazão da água consumida, utilizou-se um recipiente de volume conhecido e verificou-se o tempo necessário para atingir seu nível máximo, calculando-se então a vazão em litros por minuto. Foi tomado o tempo acumulado diário gasto no resfriamento. Este procedimento foi repetido por 10 dias de trabalho e, extraída a média aritmética de consumo. O resultado demonstrou um consumo diário de 27.530 litros d'água.

Considerando que a Empresa está localizada no Ceará, uma região semi-árida onde esse recurso natural é escasso, o uso da água na atividade de resfriamento foi classificado como um aspecto ambiental, conforme apresentado no Quadro 5.5.

**Quadro 5.5 – Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais - Resfriamento**

AVALIAÇÃO DO PROCESSO		
<b>Unidade:</b> Fundação	<b>Responsável:</b> Dento. Técnico	<b>Data:</b>
<b>Equipamento:</b> Coquilhas de Fundação	<b>Condição de Operação:</b> Ao final de	
<b>Operação:</b>	Resfriamento das Coquilhas	
<b>Atividade:</b>	Aspersão de Água sobre as Coquilhas	
<b>Controle / Detecção</b>	Direto / Real	
<b>Aspecto Ambiental:</b>	Descarte de Água Limpa	
<b>Impacto Ambiental:</b>	Desperdício de Recurso Natural	
<b>Abrangência:</b>	Limitada	
<b>Severidade:</b>	Alta	

Com base na avaliação dos aspectos e impactos classificados, foram determinadas as ações e prioridades para a solução dos problemas ambientais. Com isso, criou-se uma Planilha de Ação Ambiental - PAA, na forma do cronograma apresentado no Quadro 5.6. Nesse documento, estão definidos os aspectos, as metas e as datas limites para se obter um processo mais limpo.

**Quadro 5.6 – Planilha de Ação Ambiental – PAA**

Nº	ASPECTO	META	DATA LIMITE
01	EMIÇÃO DE GASES DA COMBUSTÃO DO ÓLEO BPF	SUBSTITUIR O ÓLEO BPF	FEVEREIRO /



*Fonte: elaborado pelo autor*

### 5.3.5 – Definição do grupo de controle

Os resultados alcançados pelo processo produtivo atual estão registrados num rol de informações chamado de grupo de controle. Este documento tem o objetivo de manter alguns parâmetros para a análise comparativa ao final da implantação do projeto. Os dados mensuráveis descritos no grupo de controle representam a média aritmética de 3 meses de levantamentos feitos no setor de custo. Conforme o técnico responsável, a empresa adota o critério do preço médio ponderado móvel para a valoração dos materiais indicados. O grupo está descrito no Quadro 5.7.

*Quadro 5.7 – Formação do Grupo de Controle*

DADOS DE CONTROLE MENSURÁVEIS	QUANTIDADE MENSAL	CUSTO R\$ MENSAL
MATÉRIA-PRIMA - LINGOTES DE	28.800 KG	105.120,00
MATÉRIA-PRIMA - PLACAS PRÉ-LAMINADAS	20.931 KG	83.724,00
COMBUSTÍVEL - ÓLEO TIPO BPF	16.800 KG	6.384,00
ENERGIA ELÉTRICA - MÉDIA MENSAL CONSUMIDA	62.500 kWh	8.700,00
PERDA DE ALUMÍNIO NA BORRA - $i = 3\%$ DA CARGA 57.162	1.715 kg	6.260,00
RETORNO DE PRODUTOS P/ DEFEITOS DE FUNDIÇÃO - $i = 12\%$	7.431 kg	6.919,00
	28.800 KG	28.800 KG
PASTILHAS P/ REFINAMENTO - NUCLEANTE REFIMAL TB	290 kg	3.294,40
PASTILHA DEGASEIFICANTE - DEGASAL AL 37	335 kg	1.755,45
RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS 3000W P/ CADINHOS	12 unidades	2.760,00
QUEROSENE P/ LIGAR E DESLIGAR O FORNO DE FUSÃO	450 litros	765,00
CADINHOS P/ FUNDIÇÃO - CAPACIDADE 250 kg	0.5 unidade	820,00
HORAS TRABALHADAS PROCESSO DE 57162	249 horas	44.585,94
VALOR TOTAL DOS DADOS MENSURÁVEIS COLETADOS	R\$	271.087,79
<i>Fonte: elaborado pelo autor</i> DADOS DE CONTROLE - ANÁLISE DICOTÔMICA		PRESENTE
GASES DA COMBUSTÃO		SIM
DERRAMAMENTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL		SIM

*Para equilíbrio da futura comparação de resultados e, devido à variação da moeda nacional, os custos foram atualizados com preços unitários de agosto de 2000, mesmo período da coleta de dados do item 3.5.8. Com a aplicação das novas tecnologias, o números do grupo de controle deverão permanecer inalterados ou apresentar redução, o que demonstraria também sua viabilidade econômica.*

#### *5.3.6 – Estudo do processo alternativo*

*Nessa fase, foram estudadas as tecnologias alternativas para a transformação do alumínio, com o objetivo de atingir as metas definidas na planilha do item 5.3.4.5. Na revisão descrita no capítulo 3, foram identificados alguns métodos e materiais que demonstram boa performance e baixo índice de poluição.*

*Para a definição dos procedimentos, foram realizados testes práticos e ensaios laboratoriais utilizando-se os equipamentos citados no capítulo 4. Também foram considerados: a compatibilidade com o porte da Empresa, a facilidade de acesso e adaptação ao processo atual e o menor tempo requerido à implantação.*

##### *5.3.6.1 – Estudo no sistema de alimentação e combustão dos fornos*

*Para a operação de fusão, optou-se pelo sistema de combustão a gás em substituição aos atuais, a óleo e, energia elétrica, instalados respectivamente nos fornos de fusão e de espera. O combustível será do tipo gás liquefeito de petróleo – glp.*

*Embora o custo por unidade desse combustível seja 2,8 vezes maior que o do óleo e semelhante ao da energia elétrica, justifica-se sua escolha pelas seguintes características obtidas no estudo:*

- melhor rendimento térmico devido ao poder calorífico de 10.500 kcal / kg, maior que as 9.500 kcal /kg do óleo;*
- combustão limpa, isenta de poluentes como o enxofre, a fuligem, e outros demonstrados na pesquisa do capítulo 3;*
- combustão total, não deixa resíduos prejudiciais ao alumínio;*
- não necessita de limpeza no sistema;*
- elimina a operação de pré-aquecimento.*

*Com essa mudança, são eliminados imediatamente dois aspectos ambientais negativos: as emissões dos gases de combustão e o derramamento de óleo, além da redução do consumo de energia elétrica.*

*O estudo para o dimensionamento do sistema contou com o auxílio técnico do gerente industrial da Tropicás Ltda, distribuidora de glp no Ceará.*

*A adaptação do forno de fusão requer a instalação de dois queimadores a gás do tipo aspirado com potência de 600.000 kcal, um manifold com as válvulas: reguladora de pressão e de retenção, e o painel de comando. O preço do conjunto está orçado em R\$ 28.000,00.*

*O forno de espera elétrico a cadinho de 250 kg, é substituído por um forno revérbero a gás, com capacidade de 500 kg de alumínio. Conforme orçamento de um fabricante, o preço deste equipamento, sem o sistema de combustão, é de R\$ 14.500,00.*

*Para a armazenagem e alimentação do combustível, é necessária a construção de uma planta central de glp com capacidade de 20 toneladas, e 146 metros de linha de distribuição. Para o orçamento, foi feita uma pesquisa junto aos fornecedores locais, chegando-se ao valor mínimo de R\$ 150.850,00. Para reduzir esse custo em 90%, pode-se optar pelo contrato de comodato dos equipamentos e das instalações, ficando a cargo da empresa, somente as obras civis. O período de instalação estimado pelas distribuidoras gira em torno de 60 dias.*

#### *5.3.6.2 – Estudo no sistema de desgaseificação do alumínio*

*A tecnologia escolhida para o tratamento de desgaseificação usa o gás inerte do tipo argônio puro. Este é aplicado através do sistema de injeção com lança de grafite com plug poroso. Esse recurso tem o objetivo de substituir as pastilhas de cloro usadas no processo atual, e eliminar a emissão dos vapores clorados.*

*Durante o estudo desse processo, foram realizados 36 tratamentos com equipamento portátil de injeção, cedido pela empresa White Martins S/A, fornecedora de gases industriais. Desses testes, foram retirados corpos de prova do alumínio, para a realização das análises metalográficas e os ensaios mecânicos, necessários à definição das variáveis de processo mostradas no Quadro 5.8.*

*Quadro 5.8 – Variáveis do Processo de Desgaseificação com Argônio*

VARIÁVEIS	VAZÃO Argônio	TEMPERATURA Alumínio	PRESSÃO Argônio	TEMPO de Tratamento
PADRÕES <i>Fonte: elaborado pelo autor</i>	5 litros / minuto	720 °C	50 Bar	5 minutos

#### *5.3.6.3 – Estudo no sistema de refinamento de grãos*

*Para o refinamento de grãos, ficou definido a inclusão de varetas de alumínio contendo os elementos refinadores titânio e boro na proporção de 5%Ti, 1%B e 94%Al, conhecidas comercialmente como Tibal 5/1, em lugar das pastilhas atuais.*

*As varetas podem ser adicionadas manualmente ao metal líquido, na proporção de 0,015% de elementos para cada quilo de alumínio.*

*A vantagem do tratamento com varetas está no uso do alumínio como aglomerante, o que torna a operação isenta das emissões gasosas provocadas pela combustão de resinosos sintéticos.*

#### *5.3.6.4 – Estudo na operação de resfriamento da coquilhas*

*Como não foram encontradas referências para essa operação, desenvolveu-se uma solução empírica de forma a minimizar o uso de água limpa no resfriamento das coquilhas de fundição.*

*Pode-se identificar através da pesquisa e das medições, que a temperatura do alumínio vazado na coquilha está acima da recomendação de 720°C. Essa diferença provoca o superaquecimento dos moldes, necessitando de resfriamento a cada corrida.*

*A partir dessa verificação, foram feitos testes com a temperatura controlada. Inicialmente obteve-se uma redução de 50% do volume de água desperdiçada, fazendo a intercalação das operações. Em segundo lugar verificou-se que essa água pode ser filtrada, resfriada e retornar ao processo. Com base nessas proposições, foi determinado o seguinte procedimento para atender ao objetivo dessa metodologia:*

- recuperar os controladores de temperatura dos fornos;*
- manter as temperaturas de tratamento e transferência, em 720 °C;*
- construir um sistema de circulação com filtro de tela com malha #15, e reutilizar a água;*
- proceder as aguações em fundições alternadas, com tempo padrão de 30 segundos por coquilha ou, até atingir 280 °C.*

#### *5.3.6.5 – Estudo para a recuperação da borra*

*Esse estudo visa a redução, recuperação e reciclagem da borra gerada no processo de fusão do alumínio. Fundamentado no estudo do item 5.3.6.1, espera-se chegar à redução, pela eliminação dos resíduos oleosos do combustível.*

*Para a recuperação da borra são seguidas algumas das técnicas recomendadas por Roth (1999) e, as técnicas já desenvolvidas pela empresa. Esse procedimento requer um forno*

*especial do tipo rotativo a gás, com chama enriquecida ou oxi-chama. Para o melhor rendimento desse processo, armazenar a borra em local próprio com piso de concreto e coberta e desenvolver a seguinte rotina:*

- proceder a moagem da borra através de moinho de bolas até que desagregue o alumínio do materiais estranhos;*
- separar em peneira vibratória com tela # 5 mesh, fabricada em aço;*
- carregar no forno rotativo em banho de cloreto de sódio à 1,5%;*
- proceder a fusão e transferir o metal para os moldes de lingotes – lingoteiras;*
- repetir todo o processo, reduzindo a tela da peneira para #7, #10 e #12 mesh sucessivamente, até que os resíduos finais estejam isentos de alumínio.*

*Esse resíduo final é conhecido como escória e é composto por restos de refratários, óxido de alumínio e impurezas.*

*Para a reciclagem da escória, foram feitas algumas iniciações como por exemplo: a adição na massa de concreto para pisos. Esta hipótese fará parte das recomendações para trabalhos futuros.*

*Ao final, o estudo foi apresentado à diretoria da empresa para a aprovação dos prazos conforme a planilha de ação ambiental demonstrada no item 5.3.4.5.*

#### *5.3.7 - Implantação do processo alternativo*

*A aplicação das técnicas estudadas foi executada com a coordenação do pesquisador e uma equipe onde participaram: o analista de métodos e o supervisor de fundição da Alubrás, o engenheiro de gases industriais da White Martins S/A, o gerente industrial da companhia fornecedora de glp, e um grupo técnico da empresa Set-point, fabricante dos equipamentos à gás.*

*Para essa fase foram necessários 10 meses de trabalho, passando-se por obras, instalações, paradas, testes e análises de resultados, até a conclusão em outubro de 2000.*

*Inicialmente foram executadas as atividades administrativas, compostas de: compra do forno de espera; fechamento do contrato de fornecimento de gás; contrato de comodato dos equipamentos e toda a instalação do sistema.*

*A etapa física começou em novembro de 1999, com a construção da central e da linha de distribuição de glp, seguida pela adaptação do forno de fusão e a instalação do novo forno de espera com capacidade de 500kg. Para isso, foi necessário a parada completa*

*do setor de fundição por 45 dias quando também foram realizadas, pela empresa, obras para um novo revestimento refratário, a construção das calhas de transferência e um novo piso industrial.*

*Para o treinamento do pessoal direto e o ajuste da regulagem ideal à operação, passaram-se mais 15 dias. Para padronização dos procedimentos, foi elaborado pela equipe, um manual onde constam todos os parâmetros de operação como: o fluxo das atividades, temperatura, tempo e recomendações gerais.*

*Com o novo sistema em funcionamento, foram observadas e feitas anotações para análise dos resultados. O próximo passo foi a instalação dos sistemas de desgaseificação e refinamento de grãos realizado em abril de 2000.*

*Definidos todos os padrões dessas atividades, foi preparado pela equipe o manual de tratamentos do alumínio. Posteriormente, foi instalado o sistema de circulação, filtragem e refrigeração da água de resfriamento das coquilhas.*

*Após a implantação planejada, algumas atividades foram eliminadas, como as compras dos cadinhos, resistências elétricas e querosene. Outras foram substituídas, como o caso das pastilhas, trocadas por materiais limpos e mais baratos como o argônio e as varetas TiBal. Também sobraram dois fornos elétricos e um sistema de combustão a óleo.*

*Como alguns pontos somente poderiam ser desenvolvidos de forma prática, após o término da aplicação dos processos estudados, foram testadas novas composições para a carga do forno. Nesse procedimento procurou-se reduzir a quantidade dos lingotes primários e, ampliar a reutilização do material retornado dos outros setores de fabricação.*

*Para isso foram selecionados por tipo e origem, todos os retalhos e rejeitos, sendo dispostos em containers padronizados, pesados e identificados para compor a carga do forno de fusão. A composição ideal demonstra a seguinte proporção:*

- 52 % de lingotes primários;*
- 34 % de retalhos de corte;*
- 10 % de aparas e retalhos de terceiros;*
- 1 % de lingotes de borra;*
- 3 % de peças defeituosas e refilados de repuxo.*

*Com essa composição, as placas produzidas apresentaram-se homogêneas, com baixo grau de encruamento, aferido pelos ensaios de dureza realizados no laboratório de materiais*

da Universidade de Fortaleza. Três análises químicas do material foram realizadas no laboratório de um fornecedor, usando o espectrofotômetro especificado no capítulo 4.

Como a Alubrás não adquiriu até o momento o forno específico ao tratamento da borra, este processo foi terceirizado e, tem rendido em média dos últimos dois lotes, 52 % de alumínio extraído desse resíduo.

### 5.3.8 – Coleta dos dados

Os dados para análise e comparação dos resultados foram coletados após a implantação das tecnologias, por um período de três meses. Foram adotados os mesmos critérios do grupo de controle, conforme apresenta o Quadro 5.9.

Quadro 5.9 – Coleta de Dados do novo Processo

DADOS MENSURÁVEIS COLETADOS	QUANTIDADE MENSAL	CUSTO R\$ MENSAL
MATÉRIA PRIMA - LINGOTES DE	49.160 KG	179.431,52
RETAILOS E APARAS DE TERCEIROS	5.717 KG	8.575,50
COMBUSTÍVEL - GLP	13.400,00 KG	9.380,00
ENERGIA ELÉTRICA – MÉDIA MENSAL CONSUMIDA	34.885,00 kWh	4.856,00
PERDA DE ALUMÍNIO NA BORRA: $i = 1.58\%$ CARGA 57.162	903,15 kg	3.296,63
RETORNO DE PRODUTOS P/ DEFEITOS DE FUNDIÇÃO : $i =$	2.001,00 kg	1.920,64
VARETAS P/ REFINAMENTO – TIBAL 5/1: $i = 0,015\%$ de Ti	171,40 kg	1.594,02
ARGÔNIO	9,00 M <sup>3</sup>	86.40
CONJUNTO LANÇA E PLUG POROSO DE GRAFITE	0,5 UNID	204,00
HORAS TRABALHADAS PARA A	176 horas	31.514,56
VALOR TOTAL DO DADOS COLETADOS MENSURÁVEIS	R\$	240.859,27
DADOS DE CONTROLE – ANÁLISE DICOTÔMICA		PRESENTE
GASES DA COMBUSTÃO		NÃO
DERRAMAMENTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL		NÃO
EMISSÃO DE VAPORES CLORADOS TÓXICOS		NÃO
EMISSÃO DE VAPORES DOS RESINADOS SINTÉTICOS OXIDANTES		NÃO
DESPERDÍCIO DE ÁGUA LIMPA NO RESFRIAMENTO DAS COQUILHAS		NÃO

dos dados levantados nos dois processos, anterior e atual. De acordo com as metas preestabelecidas, essa metodologia demonstrou resultados viáveis quanto aos aspectos ambientais, operacionais e financeiro.

Sua implantação decorreu conforme o estudado e desenvolvido ao longo desses 34 meses de trabalho. Para melhor demonstrar a comparação de dados, foi elaborado o Quadro 5.10, onde estão registrados os resultados da aplicação.

Quadro 5.10 – Comparação dos Resultados

DESCRIÇÃO DOS DADOS	PROCESSO INICIAL	PROCESSO ATUAL	POSIÇÃO FINAL
GASES DA COMBUSTÃO	PRESENTE	AUSENTE	FAVORÁVEL
DERRAMAMENTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL	PRESENTE	AUSENTE	FAVORÁVEL
EMIÇÃO DE VAPORES CLORADOS TÓXICOS	PRESENTE	AUSENTE	FAVORÁVEL
EMIÇÃO DE VAPORES DOS	PRESENTE	AUSENTE	FAVORÁVEL
DESPERDÍCIO DE ÁGUA LIMPA NO DESEMIAMENTO DAS COQUILHAS	PRESENTE	AUSENTE	FAVORÁVEL
GERAÇÃO E PERDA DE ALUMÍNIO NA BORRA	3,00 %	1.58 %	( -1,42 %)
HORAS TRABALHADAS PARA A	249 HORAS	176 HORAS	(-73 HORAS)
RETORNO DE PRODUTOS P/ DEFETOS DE FUNDIÇÃO	7.431 kg	2.001 kg	(- 5.430 kg)
CUSTO DOS DADOS MENSURÁVEIS	R\$ 271.087,79	R\$ 240.859,27	(- 30.228,52)

Fonte: elaborado pelo autor

A avaliação comparativa demonstra que, com o novo processo, a Empresa apresentou um aumento de 41,47 % na produção horária de fundição, reduzindo em 73 horas para atingir o mesmo volume de produção. Também apresenta a melhoria de 9,5% no índice de retorno dos produtos com defeitos de fundição.

Quanto ao aspectos ambientais cujas a norma NBR ISO 14001 conceitua como “componentes das atividades, produtos ou serviços de uma organização que venham a interagir com o meio ambiente”, os resultados são favoráveis pois, todos estes identificados e avaliados como significativos, não foram detectados no processo de transformação após a implantação das tecnologias alternativas.

No lado financeiro, a viabilidade é demonstrada pela redução dos custos em R\$ 30.228,52, representando 11,15% de economia com o novo processo.

Com o processo de transformação mais limpo, sem as contaminações provocadas pelo óleo, umidade e outros elementos agressivos, a Empresa passou a produzir as placas de alumínio com a qualidade suficiente à produção de produtos especiais, como a linha profissional e painéis de pressão.

Essa capacitação tornou desnecessária a compra de placas pré-laminadas no Rio de Janeiro, cujo preço representava um acréscimo de US\$ 320.00 por tonelada e, 6 dias a mais para a entrega, em relação aos lingotes adquiridos no Maranhão.



*Ao finalizar todas as atividades em busca de uma produção mais limpa, a Alubrás foi inspecionada e já em novembro de 2000, obteve da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará – SEMACE, a liberação do licenciamento ambiental.*

*Hoje, a Alubrás apresenta-se como líder no mercado do norte e nordeste do país, exporta seus produtos com a qualidade reconhecida por seus clientes na Europa e América do Sul.*

*Com o início das obras previsto para 2001, encontra-se em fase de desenvolvimento, um projeto para uma nova unidade fabril localizada no distrito industrial de Maracanaú – Ce.*

*Além de atingir os resultados esperados e outras vantagens descritas, a metodologia determina os parâmetros para controle e manutenção dos sistemas implantados. Estes, permitirão à Empresa iniciar um processo de melhoria contínua.*

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 6.1 – Comentários

A presente dissertação foi desenvolvida a partir da identificação de problemas no decorrer da atividade de transformação do alumínio. Com isso, foram definidos os objetivos e levantadas as hipóteses básicas para a elaboração do estudo. O seu desenvolvimento decorreu durante 34 meses, distribuídos nas seguintes etapas:

- identificação de problemas comuns em várias empresas com mesma atividade;
- pesquisa bibliográfica em busca de soluções aos problemas identificados;
- pesquisa no campo para verificação da aplicabilidade das soluções encontradas;
- desenvolvimento da metodologia de aplicação;
- aplicação prática da metodologia.

*O longo período utilizado é justificado pela escassez da bibliografia e pela dificuldade de acesso às tecnologias compatíveis com os objetivos do trabalho.*

A permanência do pesquisador na Empresa durante todas as etapas permitiu o desenvolvimento e a aplicação da metodologia em tempo real, fato este, importante para a precisão dos resultados.

### 6.2 – Verificação dos Objetivos

No capítulo 1, foram estabelecidos, um objetivo geral e quatro objetivos específicos, os quais foram alcançados conforme demonstrado a seguir:

#### 6.2.1 – Objetivo geral

Foi construída uma metodologia própria à obtenção de uma produção limpa no processo de transformação do alumínio primário.

#### 6.2.2 – Objetivos específicos

Conforme definido, esses objetivos foram alcançados da seguinte forma:

- foram identificados e estudados os focos geradores dos aspectos ambientais;
- após a pesquisa e o desenvolvimento da metodologia, o estudo foi validado com a aplicação prática na empresa selecionada;
- os resultados obtidos foram avaliados e comparados aos dados inicialmente coletados;
- Encontrados os resultados, foram feitos comentários sobre o trabalho e a metodologia proposta. Posteriormente descreve-se proposições para futuros trabalhos nessa linha.

### **6.3 – Verificação das Hipóteses**

Com base nos resultados da aplicação da metodologia, pode-se demonstrar que as hipóteses desse estudo foram consideradas verdadeiras:

#### **6.3.1 – Hipótese geral**

Estão descritas no capítulo 5, na aplicação prática da metodologia, que foram identificadas quatro atividades geradoras de aspectos ambientais severos, como também, o uso e descarte de água limpa captada em poço profundo para o resfriamento dos moldes de fundição.

#### **6.3.2 – Hipóteses específicas**

- Nesse estudo foram identificadas e implantadas tecnologias alternativas, cujos resultados demonstraram o desenvolvimento do processo de transformação do alumínio com minimização dos aspectos ambientais inicialmente detectados. Baseado nisso, pode-se considerar o processo atual como uma atividade de produção mais limpa;
- Após a implantação do novo processo, os resultados demonstram uma redução de 11.15% nos custos apurados, o que faz deduzir que essa hipótese é verdadeira.

Pode-se concluir neste caso, que há um relacionamento entre os fatores ambientais e os custos da produção, e que estes são gerados pela deficiência nos processos e nas tecnologias utilizadas.

## 6.4 - Conclusões

Pela abordagem teórica e prática, pode-se obter do presente trabalho diversas conclusões. As principais estão descritas conforme o desenvolvimento desse trabalho.

### 6.4.1 – Sobre a teoria pesquisada

Em busca das tecnologias do alumínio, nota-se que a bibliografia disponível é antiga, com publicações de 20 a 40 anos atrás, antes mesmo da globalização das questões ambientais. Comparadas às observadas no campo, as teorias de processos são basicamente as mesmas adotadas hoje com algumas inovações, porém, mantidas como segredo pelos desenvolvedores do setor.

Com isso, pode-se concluir que as informações mais precisas encontram-se nas publicações técnicas das grandes companhias e nos anais de congressos e seminários internacionais.

Em relação às teorias ambientais relacionadas aos objetivos do estudo, encontra-se ênfase quanto à necessidade e ao uso de tecnologias para a produção mais limpa, porém, raras são as orientações de como desenvolver e aplicar tais tecnologias ou até mesmo, artifícios auxiliares para se alcançar o desenvolvimento sustentável.

### 6.4.2 – Sobre as tecnologias alternativas

Todas as tecnologias selecionadas são conhecidas individualmente como métodos alternativos operacionais. Porém, nesse trabalho elas foram estudadas e reguladas para um objetivo ambiental, sem alterar os resultados operacionais como: volume de produção, custo e qualidade. Entretanto, como os resultados apresentados foram positivos em todos esses aspectos, pode-se concluir que métodos puramente técnicos podem proporcionar uma produção mais limpa.

### 6.4.3 - Sobre a metodologia desenvolvida

A metodologia foi fundamentada na teoria porém, usando efetivamente um referencial prático, o que a torna fácil, própria para aplicação instantânea.

Sua aplicação também é simples e promove indiretamente um controle de processo básico

e essencial, preparando a Organização para implantação de sistemas de gerenciamento e de melhoria contínua.

A partir da metodologia, das tecnologias alternativas, informações e dos dados já conhecidos, estima-se que a repetição desse trabalho, poderá ser executada em um período de 6 meses.

Pela semelhança dos processos aplicados na transformação do alumínio, essa metodologia se adapta a todas as empresas do setor;

#### 6.4.4 – Sobre o trabalho

De forma geral, fica evidente a viabilidade na correção dos sistemas industriais de transformação do alumínio, para atingir uma produção mais limpa e resultados econômicos satisfatórios. Esse procedimento também demonstra uma forma de praticar o desenvolvimento sustentável.

Com base nesta conclusão, pode dizer que esse trabalho é válido e traz benefícios à sociedade em geral.

### 6.5 – Sugestões para Futuras Pesquisas

Procurando dar continuidade à pesquisa aqui iniciada, apresenta-se as seguintes recomendações:

- aplicar a metodologia em outras empresas de transformação do alumínio e verificar sua validade;
- Formular uma pesquisa para desenvolver um processo de reciclagem para a escória do alumínio, assunto este, de grande potencialidade para as questões sociais com a geração de empregos e renda, econômica pelo retorno do capital desperdiçado, e ambiental pela retirada desse resíduo dos aterros industriais.
- Por fim, complementar a metodologia com um sistema de melhoria contínua e proceder a procura de outras tecnologias que demonstrem otimização dos resultados apresentados nesse

trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

BAFNA, Sudhir. **O importante papel da auditoria de processo**. Revista Quality Progress, traduzido e publicado em CQ-Qualidade, p 8-11. Fevereiro 1998.

CLAUDIO, Jair Rosa, EPELBAUM, Michel. **Como ter um sistema de gerenciamento**. Revista CQ – Qualidade, seção ISO 14000, p 46-56. Fevereiro 1998.

CAMARGO, Mariene Ortega de, MELLO, J. B. de. **Um blitz team pode mudar seu hospital**. Revista BQ – Qualidade, p 62-64. Março 1998.

CARVALHO, Alexandre B.M. de, CAJAZEIRA, Jorge E.R. **Saiba o que está para mudar na ISO 9001**. Revista BQ – Qualidade, p 60-67. julho, 1998.

CARVALHO, Alexandre B. M. **Método de análise com idéias criativas: técnicas heurísticas auxiliam o raciocínio inventivo, proporcionando o planejamento organizado para lidar com a melhoria**. Revista CQ – Qualidade, p 88-95. Novembro 1997.

D'AVIGNON, Alexandre. **Normas ambientais ISO 14000: como podem influenciar sua empresa**. Rio de Janeiro: CNI, DAMPI, 1995.

DE CICCIO, Francesco. **Uma nova avaliação de sistemas de gestão**. Revista BQ – Qualidade, p 56-60. Abril 1998.

DIRÓZ, Silvia. **O planeta precisa da ajuda de todos**. Revista BQ – Qualidade, p34-39. Janeiro 1999.

DURNING, Alan. **Quanto é o bastante**. Revista da Politécnica, nº 208, jan/abr de 1993.

**ESSO BRASILEIRA DE PETRÓLEO. Combustão e combustíveis industriais. 4ª ed. São Paulo: CST, 1982.**

FEIGENBAUM, Armand V. **O que está mudando na gestão e nos conceitos**. Revista Quality Progress, traduzido e publicado em BQ-Qualidade, p 10-14. Março 1998.

FILHO, Salvador Ávila. **Um modelo de gestão da qualidade e ambiental**. Revista CQ – Qualidade, p 38-40. Agosto 1996.

GRIFO, Equipe. **Iniciando os conceitos da qualidade total**. Série qualidade Brasil. São Paulo: Pioneira, 1996.

GRAND, L. **Le grai des alliages légers de fonderie**. Paris: ESF, 1950.

GUIMARÃES, Marcos V. P. **Visão integrada de um modelo de gestão**. Revista CQ – Qualidade, p 36-41. Outubro 1996.

HODJA, Ricardo G. **Os impactos reais ou potenciais da norma**. Revista CQ - Qualidade seção ISO 14000, p70-71. Setembro 1997.

IQA, Instituto da Qualidade Automotiva. **Avaliação do sistema da qualidade**; 1ª ed. São Paulo: 1997.

JAYCOX, Michael. **Como fazer com que todos participem dos times**. Revista Quality Progress, traduzido e publicado em CQ-Qualidade, p 7-11. Setembro 1996.

JURAN, J.M. **Juran planejando para a qualidade total**. 2ª ed. São Paulo: Pioneira, 1992.

Leis de Crimes Ambientais. **Lei Nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998; Comissão do Meio Ambiente, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Fortaleza: INESP, 1998.

MAGNANI, R.A., LONGO, P.A., PASKOCIMAS, C.S. **Processos de reciclagem recuperam areia de fundição**. Revista Fundição e Serviços, p 46-59. Setembro 1998.

MANNHEIMER, Walter A. **Motivação e direcionamento da pesquisa em um país em desenvolvimento** in: CNPQ. **Ciência e Tecnologia: alicerces do desenvolvimento**. São Paulo: Cobran, 1994. p79.

MARANHÃO, Mauriti. **ISO 9000: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.

MARCANTONIO, Antonia Terezinha. **Elaboração e divulgação do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 1993.



MARTINEZ, Wladimir F. N. **O papel fundamental dado à liderança.** Revista CQ – Qualidade, p 53-55. Janeiro 1998.

OLIVEIRA, Silvio Luiz de. **Tratado de metodologia científica:** projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira, 1997.

OLIVEIRA, Marcos A. L. **Qualidade: o desafio da pequena e média empresa.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1995.

RIPPER FILHO, José Elias. Ciência e Tecnologia para que? Como? In: CNPQ. **Ciência e Tecnologia: alicerces do desenvolvimento.** São Paulo: Cobran, 1994. p125.

SACH, Ignacy. **Ecodessarolo: cocepto, aplicación, implicaciones.** Vol. 30, julho nº 7. México: Comercio Exterior, 1980.

SEMACE, Superintendência Estadual do Meio Ambiente - Ceará. **Perfil ambiental e estratégias;** 114p. Fortaleza: 1992.

SETTI, Arnaldo A. **A questão ambiental: o que todo empresário precisa saber.** Brasília: Ed. SEBRAE, 1996.

SILVIA, Maria L.P. **Porque vale a pena adotar a produção limpa.** Revista BQ – Qualidade, p76-78. Outubro 1998.

SILVA, Joel P.B. **Auditoria de conformidade ambiental.** Revista Engarrafador Moderno; p 44-55. Mar/Abr – 1997.

STEFEN, Foster. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes.** São Paulo: Instituto Geológico, boletim nº10, 1993.

TAKASHINA, Newton T. FLORES, Mário C.X. **Indicadores da qualidade e do desempenho: como estabelecer metas e medir resultados.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

VANDENBRANDE, Willy W. **Melhore a eficiência de suas ferramentas: mesmo com a integração de dois sistemas diferentes, como gestão ambiental e da qualidade, é**

**possível usar as mesmas técnicas.** Revista Quality Progress, traduzido e publicado em BQ - Qualidade, p 8-11. Janeiro 1999.

**VALERIANO, Dalton L.** *Gerência em projetos: pesquisa, desenvolvimento e engenharia.* São Paulo: Makron Books, 1998.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. **Anuário estatístico**. São Paulo: ABAL, 1999.

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. **Laminação, guia técnico do alumínio**. 1ª ed. São Paulo: ABAL, 1994.

ABNT - . Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Coletânea de normas técnicas do alumínio**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ANDRADE, Rui Otávio B de, TACHIZAWA, Takeshy, CARVALHO, Ana B. de. **Gestão ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Makron Books, 2000.

ANYALEBECHI, Price. N. **Techniques for determination of the hydrogen content in aluminum and its alloys**. Alcoa Laboratories, Pennsylvania 15069: Light metals, Edited by Elwin L. Rooy, 1991.

AQUALUNG, Instituto Ecológico. Informativo nº 22 – novembro/ dezembro 1998. On line: [www.uol.com.br / instagua / info30. htm](http://www.uol.com.br/instagua/info30.htm). Acessado em 18/04/99, 02:06h.

ARNOLD, Kenneth L. **O guia gerencial para a ISO 9000**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

ASM Handbook: **Heat treating**. vol 4, revised. ASM, 1995 p.869 – 879.

\_\_\_\_\_. ASM Handbook: **properties and selections non-ferrous alloys and special – purpose material**. vol.2 revised. ASM, 1995.

BARBIERI, José Carlos. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. Rio de Janeiro: Vozes, 1997.

BARNES, Raup Mosser. **Estudo de tempos e de movimentos: projeto e medida do trabalho**. 6ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

BILLITON. **Alumínio primário e ligas para fundição, laminação e extrusão**. São Paulo: Billiton Metais, 1996.

BNB – Banco do Nordeste. **Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.

BORGES, Cecília. **Recicle: a natureza agradece**. Periódico Banas ambiental, dezembro / 1999, p. 32.

CALLENBACH, Ernest. CAPRA, Fritjof *et al.* **Eco Management: the Elmwood guide to ecological auditing and sustainable business**. *Berkeley: The Elmwood Institute*, 1993.

CMMAD - Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1991.

CARVALHO, Alexandre B. M. **Como entender o que diz na norma ISO 14001**. Revista BQ – Qualidade, p 72-80. Agosto 1998.

CASTRO, Orlando Euler de. **A qualidade de 1990 a 2000**. Periódico Banas Qualidade. Ano X, nº 100, p 32 – 36, setembro de 2000.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica: estrutura e propriedades dos metais e ligas - Processos de fabricação**. v.1. São Paulo: McGraw-Hill, 1977.

D.O.U. - **Diário Oficial da União**. Publicação do dia 02/08/1994, suplemento n. 146. Brasília: 1994.

EICHENAUER, W., HATTENBACH, K. **The solubility of hydrogen in solid and liquid aluminum**. V.52, p. 682-684. 1961.

FOSECO Indl & Coml Ltda. Boletins técnicos: **tratamento dos metais não ferrosos**. São Paulo: Foseco, 1996.

FUOCO, Ricardo. Manual: **Curso de Fundição de Ligas de Alumínio**. Divisão de metalurgia. São. Paulo: IPT, 1995.

FS. **As fundições de metais não-ferrosos**. Periódico Fundição e Serviços, ano 10, nº 85, p.56 – 81, seção guia. São Paulo: Aranda, janeiro 2000.

GARVIN, David. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GODOY, Arilda S. **Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais**. RAE – Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 35, n.3, p. 20-29. Mai / Jun. 1995.

GOMES, M. Rennó, FILHO, Ettore Bresciani. **Propriedade e uso de metais não-ferrosos**. São Paulo: ABM, 1982.

GORNI, Antonio Augusto. **Inventário analisa situação das máquinas de fundição no Brasil**. Periódico Fundição e Serviços, ano 10, nº 83, p. 20 – 43, seção inventário. São Paulo: Aranda, novembro 1999.

GRANT, N.J., OPIE, W.R. **Hydrogen solubility in aluminum and some aluminum alloys**. Transactions of AIME. v.188, p. 1237-1241. 1950.

GWINNER, Daniel S. **Environmental issues in the aluminum reclamation industry**. Coletânea dos trabalhos: III seminário internacional de reciclagem do alumínio, p. 40. São Paulo: ABAL, 1996.

HATCH, John E. **Aluminum: properties and physical metallurgy**. Ohio: ASM, 1984.

IUNC – International Union for Conservation of Nature, WWF – World Wild fund. World conservation strategy – **living resource conservation for sustainable development**. Suíça, Gland: 1980.

LAKATOS, Eva Maria, MARCONI, Marina de A. **Metodologia do trabalho científico**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 1992.

MANIGLIA, Mauro M **Desgaseificação e filtração do alumínio**. Artigo publicado em Metalurgia, v.44. nº363. ABM, fevereiro 1988.

MASCRÉ. **Étude metallurgique des alliages légers**. Paris: E.S.F., 1973.

MEADOWS, Donella. H.; MEADOWS, Dennis L.; RANDERS, Jorgen; BEHRENS, William W.

**III. Limites do crescimento.** São Paulo: Perspectiva, 1972.

MONDOLFO, L.F. **Aluminum Alloys: structure and properties**, p.17. Boston: Buterworths, 1976.

NBR ISO 14001. **Sistemas de gestão ambiental: Especificação e diretrizes para uso.** Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

NBR ISO 14004. **Sistemas de gestão ambiental: diretrizes gerais sobre princípios sistemas e técnicas de apoio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços.** São Paulo: Atlas, 1995.

PATON, Scott M. **O futuro da qualidade.** Quality Digest. Artigo publicado em Banas Qualidade, p.66-71, março de 2000.

PEARSON, J., KEARNS, M.A. **Selections of grains refiners for optimum performance in the cast house.** VI Aluminum industry thecnology seminary. Collection of papers, p. 35. São Paulo: ABAL, 1997.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. *Cleaner Production for Worldwide.* PNUMA, 1993.

PYZDEK, Thomas. **Seja criativo para melhorar sua gestão.** Quality Progress, p.60-64, julho de 1999.

RANSLEY, C.E., NEUFELD,H. **The solubility of hydrogen in liquid and solid aluminum.** Journal of the Institute of Metals. v. 74, p. 599 – 620. 1948.

REDHAIR, M. L. **Degassing and filtering methods.** Alcoa technical center: 1986.

ROCCA, A. C. **Resíduos sólidos industriais.** São Paulo: CETESBE, 1993.

ROTH, David J. **Dross recycling technology improve and maximize recoveries aluminum dross.** Altek International. Exton PA, 19341, USA. Artigo apresentado no V

International Aluminum Recycling Seminar. São Paulo: 1999.

SACHS, Ignacy. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel e Fundação de Desenvolvimento Administrativo (FUNDAP), 1993.

SENAI, Escola de Fundição “Marcelino Corradi”. **Metalurgia das ligas de alumínio**: publicação técnica fundição. Nº 9. vol. 1. Itaúna: Senai, 1994.

SILVA, Fabio B. **Desgaseificação de Alumínio**. Publicação técnica. White Martins, 1998.

UMEDA, Masao. **ISO e TQC : o caminho em busca de GQT**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996.

VIEIRA, Sonia. **Como escrever uma tese**. São Paulo: Pioneira, 1996.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. Newbury Park, CA: Sage Publications, 1989, pg 23.